

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

H01L 31/075



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 97117521.7

[43]公开日 1998 年 3 月 4 日

[11] 公开号 CN 1175095A

[22]申请日 97.8.28

[30]优先权

[32]96.8.28 [33]JP[31]226651 / 96

[71]申请人 佳能株式会社

地址 日本东京

[72]发明人 佐野正史 中村哲郎

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标  
事务所

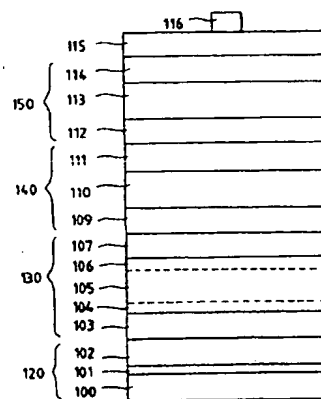
代理人 范本国

权利要求书 2 页 说明书 53 页 附图页数 5 页

[54]发明名称 光电器件

[57]摘要

具有多个 PIN 结构的一种光电器件，该 PIN 结构从光入射侧开始按照顺序包括第一 PIN 结构、第二 PIN 结构和第三 PIN 结构，且这些结构每一个都具有一个 i 型半导体层，且第一 PIN 结构的 i 型半导体层包括非晶硅，第二 PIN 结构的 i 型半导体层包括微晶硅且第三 PIN 结构的 i 型半导体层包括非晶硅锗或微晶硅锗。根据本发明的光电器件提供了优越的光电转换效率且不容易发生光衰退。



(BJ)第 1456 号

## 权 利 要 求 书

---

1. 一种具有多个 PIN 结构的光电器件, 其中:

该 PIN 结构从光入射侧按照顺序包括第一 PIN 结构、第二 PIN 结构和第三 PIN 结构—它们每一个都具有一个 i 型半导体层; 且第一 PIN 结构的 i 型半导体层包括非晶硅, 第二 PIN 结构的 i 型半导体层包括微晶硅且第三 PIN 结构的 i 型半导体层包括非晶硅锗。

2. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中第二 PIN 结构的 i 型半导体层具有从 300nm 至 2200nm 的层厚度。

3. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中第二 PIN 结构的 i 型半导体层包括硼且其硼的含量不超过 8ppm。

4. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中第二 PIN 结构的 n 型半导体层包括微晶硅。

5. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中第二 PIN 结构的 n 型半导体层具有一种叠置结构—该结构由包括微晶硅的一个层和包括非晶硅的一个层构成。

6. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层中的非晶硅锗的平均锗含量不超过 45 原子%。

7. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层的层厚度从 60nm 至 250nm。

8. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层的非晶硅锗是通过微波等离子体化学汽相淀积而形成的。

9. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层至少在其一个界面上具有不包含锗的一个缓冲层。

10. 根据权利要求 1 的光电器件, 其中其中第一 PIN 结构的 i 型半导体层具有从 50nm 至 250nm 的层厚度。

11. 一种具有多个 PIN 结构的光电器件, 其中:

该 PIN 结构从光入射侧按照顺序包括第一 PIN 结构、第二 PIN 结构和第三 PIN 结构—它们每一个都具有一个 i 型半导体层; 且第一 PIN 结构的

i 型半导体层包括非晶硅, 第二 PIN 结构的 i 型半导体层包括微晶硅且第三 PIN 结构的 i 型半导体层包括微晶硅锑。

12. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第二 PIN 结构的 i 型半导体层具有从 500nm 至 2500nm 的层厚度。

13. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第二 PIN 结构的 i 型半导体层包括硼, 且硼的含量不超过 8ppm。

14. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第二 PIN 结构的 n 型半导体层包括微晶硅。

15. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第二 PIN 结构的 n 型半导体层具有一种叠置结构—该叠置结构由包括微晶硅的一个层和包括非晶硅的一个层组成。

16. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层中的微晶硅锑具有不超过 40 原子%的平均锑含量。

17. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层具有从 200nm 至 2000nm 的层厚度。

18. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层中的微晶硅锑是借助微波等离子体化学汽相淀积而形成的。

19. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层至少在其一个界面上具有不包含锑的一个缓冲层。

20. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第一 PIN 结构的 i 型半导体层具有从 50nm 至 250nm 的层厚度。

21. 根据权利要求 11 的光电器件, 其中第三 PIN 结构的 i 型半导体层的微晶硅锑具有  $10000^{-1}$  或更高的光吸收系数。

## 光电器件

本发明涉及一种光电器件—诸如太阳能电池或检测器，它具有多个叠置的 PIN 结构。

光电层用非晶半导体制成的薄膜光电器件的优点，在于可以制成比单晶光电器件面积大且厚度小的膜，且这些膜可以淀积在任何基底材料上。这种光电器件被认为大有发展前途。

作为改善利用非晶半导体的光电器件的光电转换效率的一种手段，尝试例如把包含锗以使带隙变窄，从而提高对长波光的灵敏度。

然而，被称为非晶硅锗的半导体材料通常随着锗的含量的增大而造成光电导性的降低。具体地，包含 35 原子% 或更多锗的非晶硅锗经常造成光电导性的显著下降。因此，对在 i 型半导体层中采用大锗含量的非晶硅锗的光电器件，已经难于实现高的光电转换效率。

这被认为是由于局部的带隙中的能级随着锗的含量的增大而增大，从而使导带端部和价电子带端部处的尾态能级增大，从而使电子和空穴的扩散长度变短。

作为改善光电器件的光电转换效率的另一种方法，美国专利第 2, 949, 498 公布了采用所谓的叠层电池。叠层的电池是这样的电池—其中具有单元器件结构的多个光电器件被叠置。这种叠层电池是一个电池，其中具有不同带隙的器件被叠置起来以便以良好的效率吸收太阳光谱中的每一个部分，从而使光电转换效率得到改善，且这种电池得到适当设计以使在所谓的底层—它位于处于叠置器件的光入射侧上的顶层之下一中的带隙窄于顶层的带隙。这使得对太阳光谱具有良好的吸收，从而改善光电转换效率；见 K.Miyachi 等人，Proc. 11th, E.C. Photovoltaic Solar EnergyConf., Montreux, Switzerland, 88, 1992 或 K.Nomoto 等人，"a-SiAlloy Three-Stacked Solar Cells with High Stabilized Efficiency", 7th Photovoltaic Science and Engineering Conf., Nagoya, 275, 1993。

然而，非晶硅和非晶硅锗具有一个问题，即由于光的照射而使膜的质量降低，即所谓的 Stebler-Ronskie 效应。这是非晶半导体特有的一个现象，它在晶体系统中是没有的。因此，在已有的环境下，它们在被用于电力的目的时的可靠性是很差的，这是它们进入实际应用的一个障碍。

同时，近年来，不仅对非晶/非晶系统的叠层电池而且对非晶/晶体系统的叠层电池进行了研究，且报告了光电器件的光电转换效率的改善；见 Hamakawa, Y 等人 "Device Physics and Optimum Design of a-Si/Poly Si Tandem Solar Cells", Proceedings of 4th International PVSEC, pp. 403-408, Feb. 1989, A. Shah, H. Keppner 等人, "Intrinsic Microcrystalline Silicon ( $\mu$ -c-Si:H) - A Promising New Thin-film Solar Cell Material", IEEE First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp. 409-412, Dec. 1994, 或 Michell, R.L. 等人, "The DOE/SERI Polycrystalline Thin-film Subcontract Program, Proceedings of 20th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1469-1476, Sept. 1988.

然而，考虑到叠层电池中光所产生的电流的平衡，在光入射侧（具有宽的带隙）上的电池必须具有大的厚度，造成了当膜具有大的厚度时发生光退化的问题。

本发明的一个目的，是解决上述问题以提供具有优异的光电转换效率和较小的光退化的光电器件。

本发明提供了一种光电器件，它具有多个 PIN 结构，其中：

该 PIN 结构从光入射侧按照顺序包括第一 PIN 结构、第二 PIN 结构和第三 PIN 结构，其每一个都具有一个 i 型半导体层；且第一 PIN 结构的 i 型半导体层包括非晶硅，第二 PIN 结构的 i 型半导体层包括微晶硅且第三 PIN 结构的 i 型半导体层包括非晶硅锗或微晶硅锗。

图 1 是横截面图，示意显示了根据本发明的光电器件的一个例子的层配置；

图 2 是横截面图，示意显示了根据本发明的光电器件的另一个例子的层配置。

图 3 是横截面图，示意显示了根据本发明的光电器件的另一个例子的

层配置。

图 4A 显示了适合于连续制造本发明的光电器件的制造设备。图 4B 是其一个部分的放大图。

图 5 显示了适合于在连续的片形基底上连续制造本发明的光电器件的制造设备。

(1) 本发明的光电器件具有多个 PIN 结构, 从光入射侧按照顺序包括第一 PIN 结构、第二 PIN 结构和第三 PIN 结构, 每一个都具有一个 i 型半导体层, 且其特征在于第一 PIN 结构的 i 型半导体层包括非晶硅, 第二 PIN 结构的 i 型半导体层包括微晶硅且第三 PIN 结构的 i 型半导体层包括非晶硅锗或微晶硅锗。

这是基于一个发现—即具有叠置成三组的 PIN 结构的三层型的光电器件所造成的光退化可能比具有叠置成两组的 PIN 结构的两类型光电器件所造成的光退化小。当采用相同类型的半导体材料时, 三层型器件中每一个 PIN 结构中由光产生的电流被认为是小于双类型器件的, 从而造成了空穴与电子的再结合的减少, 而这种结合会造成非晶半导体的光退化。

在以下的描述中, 从光入射侧按照顺序的第一、第二和第三 PIN 结构经常分别被称为顶电池、中间电池和底电池。

微晶硅对长波的光比非晶硅灵敏, 因而该器件具有一种结构—其中顶电池的 i 型半导体层具有非晶硅且中间电池的 i 型半导体层具有微晶硅, 从而使顶电池吸收具有较短波长的光且中间电池吸收具有较长波长的光。

底电池的 i 型半导体层具有非晶硅锗, 从而使底电池能够对较长波长的光比中间电池灵敏。另外, 底电池的 i 型半导体层可以具有微晶硅锗, 从而使底电池对波长长得多的光灵敏并可以造成较小的光退化。

由于中间电池的 i 型半导体层具有微晶硅, 中间电池也可造成较小的光退化。在其中在底电池中使用非晶硅锗的情况下, 已经发现中间电池 i 型半导体层可以较好地具有 300nm 至 2200nm 的层厚度, 且更好地是 500nm 至 2000nm。在其中在底电池中采用微晶硅锗的情况下, 已经发现中间电池 i 型半导体层可较好地具有 500nm 至 2500nm 且更好地是 600nm 至 2200nm 的层厚度。

如果层厚度小于上述下限, 光所产生的电流太小而使三重电池所需的

光电转换效率降低。如果它大于上述的上限，中间电池中产生的电流可以是充足的但进入底电池的光量会减小，从而使底电池中产生的电流变得太小而不能调节相应的电池的电流值，从而使光电转换效率降低。

顶电池的 i 型半导体层较好地是具有从 50nm 至 250nm 且更好地是从 70nm 至 150nm 的层厚度。在其中在底电池中采用非晶硅锑的情况下，已经发现底电池的 i 型半导体层较好地是具有从 60nm 至 250nm 且更好地是从 80nm 至 180nm 的层厚度。在其中在底电池中采用微晶硅锑的情况下，已经发现底电池的 i 型半导体层较好地是具有从 200 至 2000nm 的层厚度。

(2) 中间电池中的 i 型半导体层微晶硅可包含少量的硼。因此，在光产生电流时的空穴迁移性能够得到改善，从而保持高光电转换效率并防止光退化。所包含的硼的含量可以不超过 8ppm。因此，微晶硅的微晶的生长未被禁止，且膜的质量的降低由于没有过量的惰性硼而能够得到防止。

(3) 中间电池的一个 n 型半导体层可具有微晶硅或由微晶硅与非晶硅形成的叠置结构。这已经被发现在以下方面是有效的：

1) 形成在 n 型层上的 i 型半导体层能够以高淀积速率形成，因而能够尽可能地防止杂质并能够形成良好质量的微晶硅。

2) 形成在 n 型层上的 i 型半导体层的微晶硅能够从淀积的初始阶段在几乎没有非晶成分的状态形成形成，因而能够形成良好质量的微晶硅。

3) 形成在 n 型层上的 i 型半导体层的微晶硅，能够在比以前研究的淀积基底温度高得多的温度下淀积，因而能够形成更良好质量的微晶硅。

4) 在淀积形成在 n 型层上的 i 型半导体层的微晶硅的初始阶段，n 型半导体层受到的氢离子的损坏较小，因而能够保持光退化较小的高光电转换效率。

(4) 底电池的 i 型半导体层的非晶硅锑较好地是具有从 45 原子% 至 90 原子%的含量，且更好地是从 48 原子%至 75 原子%的含量。这使得非晶硅锑的带隙更小，并使得能够利用更长波长的光。因此，即使当底电池具有小的层厚度时，所产生的电流的值也可以得到保持。

在其中底电池的 i 型半导体层是微晶硅锑的情况下，该微晶硅锑可较好地是具有从 40 原子%至 90 原子%且更好地是从 45 原子%至 75 原子%的含量，且在 800nm 较好地是具有  $10000\text{cm}^{-1}$  或更高的光吸收系数。这使得能够

利用波长长得多的光。

(5) 在底电池的 p 型层与 i 型层之间, 可以设置由一个非晶硅层或非晶硅碳层组成的缓冲层。这使得 PIN 结构的扩散势能增大, 从而改善光电器件的开路电流电压 ( $V_{oc}$ )。也可以在 n 型层与 i 型非晶硅锗层之间另外再设置该缓冲层, 从而能够改善光电转换效率。

该缓冲层较好地是具有从 30 埃至 450 埃且更好地是从 50 埃至 350 埃的厚度。即使当设置了具有这样的层厚度的缓冲层时, 光电器件的光退化速率几乎没有增大。

(6) 非晶硅锗层中的锗含量沿着层厚度方向可以以如下方式改变——即在从 p 型层侧上的缓冲层界面算起深度不超过整个非晶硅锗层的层厚度  $1/4$  之处锗含量被设定为最大。这使开路电流电压 ( $V_{oc}$ ) 和填充因子 (FF) 得到了改善。

在非晶半导体中, 对于光产生的电子和空穴, 空穴被认为是具有比电子短的扩散长度且速率确定全部的特性, 因而当非晶硅锗的带隙沿着层厚度方向改变从而使带隙最小的位置被设定在 p 型层的附近时, 光载流子比当带隙在层厚度方向中为均匀的情况下更为分布在 p 型层附近。对于光载流子中的空穴, 它们在 i 型半导体层中的移动距离变短。因此, 这些被认为是造成了填充因子 (FF) 的改善。

还认为, 非晶硅锗的带隙可以连续地改变, 从而使价电子带具有一个渐变, 从而使光载流子中空穴的扩散能够得到促进, 从而改善光电器件的开路电流电压 ( $V_{oc}$ ) 和填充因子 (FF)。

以下结合附图对本发明进行更详细的描述。

图 1 示意地显示了根据本发明的叠层型光电器件的横截面图。图 1 所示的叠层型光电器件具有这样的结构——即其中叠置了三层的 PIN 结构。标号 150 表示了一个第一 PIN 结构 (顶电池); 140 表示了一个第二 PIN 结构 (中间电池); 且 130 表示了一个第三 PIN 结构 (底电池); 它们是按照从光入射侧的顺序的。这三个 PIN 结构被叠置在形成在一个基底 100 上的背电极 101 上, 且在这三个 PIN 结构的最上部形成了一个透明电极 115 和一个集电极电极 116 以形成叠层型光电器件。

这些 PIN 结构分别由 n 型半导体层 103、109 和 112、i 型半导体层

104 (一个缓冲层)、105、106 (一个缓冲层)、110 和 113 以及 p 型半导体层 107、111 和 114 组成。

在本发明中, 非晶硅被用作第一 PIN 结构的 i 型半导体层 113, 微晶硅被用作第二 PIN 结构的 i 型半导体层 110 且非晶硅锗或微晶硅锗被用作第三 PIN 结构的 i 型半导体层 105。

图 2 显示的光电器件具有如图 1 所示的结构相同的结构, 只是第二 PIN 结构 240 的 n 型半导体层具有由 n 型非晶半导体 208 和 n 型微晶半导体 209 形成的叠置结构。更具体地说, 标号 250 表示了一个第一 PIN 结构, 且 230 表示了一个第三 PIN 结构; 且标号 200 表示了一个基底; 201 表示一个背电极; 202 表示一个扩散防止层; 203、209 和 212 表示 n 型半导体层; 204、205、206、210 和 213 表示 i 型半导体层 (204 和 206 表示缓冲层); 且 207、211 和 214 表示 p 型半导体层。

图 3 显示了一种光电器件, 它具有这样的层配置—即其中第三 PIN 结构 330 的 n 型半导体层具有由 n 型非晶半导体 317 和 n 型微晶半导体 303 形成的叠置结构。另外, 只有一层被作为 i 型半导体层 305 的缓冲层 306 而提供。其他的部分与图 1 所示的相同。更具体地说, 标号 350 表示了一个第一 PIN 结构, 且 340 表示了一个第二 PIN 结构; 且标号 300 表示一个基底; 301 表示一个背电极; 302 表示一个扩散防止层; 308 和 312 表示 n 型半导体层; 310 和 313 表示 i 型半导体层; 且 307、311 和 314 表示 p 型半导体层。

这些器件还可以具有这样的层配置—即其中在 PIN 结构中的 i 型半导体层和 p 型半导体层彼此取代。

下面对本发明的叠层型光电器件的结构进行更详细的描述。

#### —基底—

由于半导体层 103 至 114 是最厚约  $3\ \mu\text{m}$  的薄膜, 它们被淀积在适当的基底上。这样的—个基底 100 可以是单晶或非晶的, 并可具有导电或绝缘性。它还可以是透光或不透光的, 但最好是不受变形或应力的, 并具有所希望的强度。它可以具体地包括诸如 Fe、Ni、Cr、Al、Mo、Au、Nb、Ta、V、Ti、Pt 和 Pb 的金属及其合金 (如黄铜或不锈钢) 或它们的复合物的薄片; 耐热树脂的膜或片—如聚酯、聚乙烯、聚碳酸酯、醋酸

纤维、聚丙烯、聚氯乙烯、聚偏二氯乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、聚酰亚胺和环氧树脂或它们中的任何材料与玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、金属纤维等等的复合物；受到借助溅射、真空淀积、电镀等表面涂覆从而使它们的表面覆盖上由不同的材料形成的金属薄膜的这些材料，以及  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$  等等；以及玻璃、陶瓷等等。

当上述基底被用作光电器件的基底且该基底用诸如金属的导电材料制成时，它可以被用作电极以直接汇集电流。当它是用诸如合成树脂的电绝缘材料制成时，其淀积有膜的表面侧最好事先通过单个金属、合金或透明导电氧化物（TCO）——诸如 Al、Ag、Pt、Au、Ni、Ti、Mo、W、Fe、V、Cr、Cu、不锈钢、青铜、镍铬合金、 $\text{SnO}_2$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、ZnO 和 ITO 的电镀、真空淀积或溅射进行表面处理，以形成用于收集电流的电极。

当然，当基底是用诸如金属的导电材料制成时，可以在基底上形成有淀积膜的一侧上提供一个不同金属的层，以例如改善基底表面的长波长光的反射率并防止基底材料与淀积膜的组成元素之间的彼此扩散。当基底比较透明且光电器件具有其中光入射到基底侧上的层配置时，最好事先借助淀积而形成一个导电薄膜——诸如上述透明导电氧化物或金属薄膜。

对于该基底的表面特性，它可以是平滑的表面，或者可以具有细小的不调整的表面。当基底具有细小不规则表面时，它可以具有球面、圆锥或金字塔形的不规则，且它们的最大高度（ $R_{\max}$ ）最好从  $0.05\ \mu\text{m}$  至  $2\ \mu\text{m}$ 。这使得光从表面的反射变得不规则，以增大反射光的光程。基底可以具有例如板、连续的带或筒形的形状。它可以具有尽可能小的厚度，只要需要使光电器件具有柔性或在光从基底一侧入射时它能够良好地显示出基底的作用。然而，考虑到基底的生产和处理以及机械强度，它通常具有至少  $10\ \mu\text{m}$  的厚度。

#### —背电极或光反射层—

本发明中采用的背电极（一个金属层）是设置在对着光入射方向的半导体层的背面的一个电极。因此，它被设置在图 1 中的位置 101，或者在其中基底 100 是透明的且光入射到该基底的侧面的情况下，它被设置在位置 115。用于该背电极的材料可以包括诸如金、银、铜、铝、镍、铁、铬、钼、钨、钛、钴、钽、铌和锆的金属或诸如不锈钢的合金。具体地，诸如

铝、铜、银和金的具有高反射率的金属是较好的。当采用具有高反射率的金属时，背电极还可被用作反射没有被半导体层所完全吸收的光以使其返回半导体层的光反射层。

该背电极可以具有平整的形状，且较好地可以具有不规则的形状以使光散射。在背电极具有这种散射光的不规则形状的情况下，没有被半导体层完全吸收的光都能够得到散射以延长半导体层中的光程，从而使光电器件对长波光的灵敏度得到改善，以增大其短路电流，并改善光电转换效率。至于散射光的不规则形状，不规则的凸起与凹下之间的高度差（ $R_{\max}$ ）较好地是从  $0.2 \mu\text{m}$  至  $2.0 \mu\text{m}$ 。然而，当基底还被用作背电极时，在某些情况下不需要形成背电极。

该背电极可以用真空淀积、溅射、电镀或印刷形成。当背电极具有散射光的不规则形状时，如此形成的金属或合金膜可被干蚀刻或湿蚀刻，或得到喷砂或加热，以形成不规则。或者，上述金属或合金可在受到加热的同时被真空淀积在基底上，以提供散射光的不规则形状。

在背电极 101 与 n 型半导体层 103 之间还可提供一个由导电氧化锌等形成的扩散防止层（一个透明导电层）102。该扩散防止层 102 不仅能够防止构成背电极 101 的金属元素散射到 n 型半导体层中，而且当它具有一点电阻时还防止了由于诸如背电极 101 与透明电极 115 之间的管脚孔的不完善而造成的短路——其中透明电极 115 是用于把半导体层保持在背电极 101 与透明电极 115 之间的，并把在薄膜造成的多重干涉之后入射的光限制在光电器件中。其表面较好地是具有不规则的形状。

#### — i 型半导体层 —

在本发明的光电器件中，非晶硅被用作构成第一 PIN 结构的 i 型半导体层 113 的半导体材料，微晶硅被用作构成第二 PIN 结构的 i 型半导体层 110 的半导体材料，且非晶硅锗被用作构成第三 PIN 结构的 i 型半导体层 105 的半导体材料。轻 p 型或轻 n 型的层也可被用作 i 型半导体层。

IV-IV 族或 III-V 族型非晶半导体材料包含氢原子（H，D）或卤原子（X），并补偿了 i 型层中的未键合臂（悬空键）以改善 i 型层中载流子的迁移率与寿命的积。因此，它们补偿着 p 型层与 i 型层之间以及 n 型层与 i 型层之间的界面的界面能级，并具有改善光电器件的光电力、光电电

流和光响应的作用。

包含在 i 型层中的氢原子和/或卤原子的优选含量可以从 1 至 40 原子 %。具体地, 作为一种较好的分布形式, 氢原子和/或卤原子可以在 p 型层与 i 型层之间和 n 型层与 i 型层之间的界面侧具有较大的含量。在这些界面附近, 氢原子和/或卤原子的含量较好地可以是它们在体中的含量的 1.05 至 2 倍。另外较好地是氢原子和/或卤原子的含量与硅原子的含量相对应地改变。

根据补偿悬空键的元素的不同, 非晶硅、微晶硅和非晶硅锗分别用 a-Si : H、a-Si : F、a-Si : H : F、 $\mu$ c-Si : H、 $\mu$ c-Si : F、 $\mu$ c-Si : H : F、a-SiGe : H、a-SiGe : F 或 a-SiGe : H : F 表示。

更具体地说, 作为用于本发明的光电器件中较好的第一 PIN 结构的 i 型半导体层 113 的材料, 它可以包括 i 型氢化非晶硅 (a-Si : H), 具有诸如从 1.60eV 至 1.9eV 的光学带隙 ( $E_g$ ), 从 1.0% 至 25.0% 的氢原子含量 (CH), 当暴露在 AM 1.5 和 100mW/cm<sup>2</sup> 的人造太阳光下时具有  $1.0 \times 10^{-5}$ S/cm 或更大的光电导率 ( $\sigma_p$ ),  $1.0 \times 10^{-9}$ S/cm 或更低的暗电导率 ( $\sigma_d$ ), 用恒定光电流法 (CPM) 测量有 55me 或更低的 Urbach 能, 以及  $10^{17}$ /cm<sup>3</sup> 的局部能级密度。使用这种材料是较好的。

#### — p 型层或 n 型层 —

p 型层和 n 型层的非晶材料 (在这里是 “a-”) 和微晶材料 (在这里是 “ $\mu$ c-”) 可包括例如: 诸如 a-Si : H、a-Si : HX、a-SiC : H、a-SiC : HX、a-SiGe : H、a-SiGeC : H、a-SiO : H、a-SiN : H、a-SiON : HX、a-SiOCN : HX、 $\mu$ c-Si : H、 $\mu$ c-SiC : H、 $\mu$ c-Si : HX、 $\mu$ c-SiC : HX、 $\mu$ c-SiGe : H、 $\mu$ c-SiO : H、 $\mu$ c-SiGeC : H、 $\mu$ c-SiN : H、 $\mu$ c-SiON : HX 以及  $\mu$ c-SiOCN : HX, 在这些材料中已经加入了高浓度的 p 型价电子控制剂 (周期表中的 III 族原子 B、Al、Ga、In 或 Tl) 或 n 型价电子控制剂 (周期表中的 V 族原子 P、As、Sb 或 Bi)。多晶材料 (这里的 “poly-”) 可包括诸如 poly-Si : H、poly-Si : HX、poly-SiC : H、poly-SiC : HX、poly-SiGe : H、poly-Si、poly-SiC 以及 poly-SiGe — 其中加入了高浓度的 p 型价电子控制剂 (周期表中的 III 族原子 B、Al、Ga、In 或 Tl) 或 n 型价电子控制剂 (周期表中的 V 族原子 P、As、

Sb 或 Bi )。

具有较小的吸收的晶体半导体层或具有宽带隙的非晶半导体层特别适合于光入射侧上的 p 型层或 n 型层。

周期表中的 III 族原子至 p 型层的加入以及周期表中的 V 族原子至 n 型层的加入的优化量, 均在从 0.1 至 50 原子%的范围中。

包含在 p 型层或 n 型层中的氢原子 (H, D) 或卤族原子 (X) 也对 p 型层或 n 型层中的未键合臂进行补偿, 以改善 p 型层或 n 型层的掺杂效率。氢原子或卤族原子加入 p 型层或 n 型层的优化含量可以在从 0.1 至 40 原子%的范围内。特别是当 p 型层或 n 型层是晶体时, 氢原子或卤族原子加入的优化含量在从 0.1 至 8 原子%。另外, 作为一种较好的分布形式, 氢原子和/或卤原子在 p 型层与 i 型层之间以及 n 型层与 i 型层之间的界面侧可以具有较大的含量。在这些界面的附近, 作为一种较好的范围, 氢原子和/或卤原子的含量可以是它们在体中的含量的 1.05 至 2 倍。当氢原子或卤族原子的含量以此方式在 p 型层与 i 型层之间和 n 型层与 i 型层之间的界面附近变得较大时, 本发明的光电器件在这些界面附近的缺陷能级和机械应力以及光电力和光电电流都能够得到增大。

作为光电器件的 p 型层和 n 型层的电特性, 这些层较好地是具有 0.2eV 或更低的激活能, 并较好地是具有  $100 \Omega \cdot \text{cm}$  或更低且更好地是  $1 \Omega \cdot \text{cm}$  以下的电阻率。p 型层和 n 型层均较好地是具有从 1nm 至 50nm 且更好地是从 3 至 10nm 的层厚度。

#### —半导体层的形成—

作为本发明的光电器件的半导体层的 IV 族和 III-V 族合金型非晶半导体层较好地是由微波等离子体 CVD 或 RF (射频) 等离子体 CVD 形成。

该微波等离子体 CVD 是这样的过程—即其中诸如形成膜的气体和稀释气体的气体被供给到一个能够被置于真空状态的淀积腔 (真空腔) 中, 该淀积腔的内部压强在借助一个真空泵对其进行抽真空的情况下被保持为恒定, 且借助一个微波电源产生的微波通过一个波导或同轴电缆并经过一个与淀积腔电绝缘的导体 (用 Ni、W 或 SUS 不锈钢制成的杆) 被引入到该淀积腔中, 其中使材料气体的等离子体分解, 从而在设置在淀积腔中的基底上形成所希望的淀积膜。因此, 能够在广泛的淀积条件下形成可应用于光

电器件的淀积膜。

在其中借助微波等离子体 CVD 进行淀积的情况下，淀积腔中的基底温度较好被设定在从 300 至 450 °C 的范围，内部压强在从 0.5 至 50 毫托，微波功率从 0.01 至 1W/cm<sup>2</sup>，且微波频率从 0.1 至 10GHz。

在其中借助 RF 等离子体 CVD 进行淀积的情况下，淀积腔中的基底温度较好被设定在从 100 至 350 °C 的范围中，内部压强在从 0.1 至 10 托的范围，RF 功率从 0.01 至 5.0W/cm<sup>2</sup>，且淀积速率从 0.1 至 15 埃/秒。

作为适合于形成本发明的光电器件中的半导体层的淀积膜形成方法，可以采用美国专利第 4,400,409 号中公布的辊一至一辊系统。

在这种淀积膜形成方法中，多个辉光放电区沿着相继通过它们的一个通路设置，且一个带状基底沿着纵向方向被连续地传送，同时在相应的辉光放电区中在该基底上淀积并形成具有所需的传导类型的半导体层。因此，能够连续地形成具有所希望的半导体结构的光电器件。

适合于淀积在本发明的光电器件中为较好的 IV 族和 III-V 族合金型非晶半导体层的材料气体，可包括包含硅原子的可气化化合物、包含锗原子的可气化化合物、包含碳原子的可气化化合物、包含氮原子的可气化化合物、包含氧原子的可气化化合物、以及这些化合物中的任何一些的混合气体。

具体地说，作为包含硅原子的可气化化合物，可采用链或环硅烷化合物，具体包括，例如，诸如硅 SiH<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、SiFH<sub>3</sub>、SiF<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、SiF<sub>3</sub>H、Si<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、SiD<sub>4</sub>、SiHD<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>D<sub>2</sub>、SiH<sub>3</sub>D、SiFD<sub>3</sub>、SiF<sub>2</sub>D<sub>2</sub>、Si<sub>2</sub>D<sub>3</sub>H<sub>3</sub>、(SiF<sub>2</sub>)<sub>5</sub>、(SiF<sub>2</sub>)<sub>6</sub>、(SiF<sub>2</sub>)<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、Si<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、Si<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>H<sub>3</sub>F<sub>3</sub>、SiCL<sub>4</sub>、(SiCL<sub>2</sub>)<sub>5</sub>、SiBr<sub>4</sub>、(SiBr<sub>2</sub>)<sub>5</sub>、Si<sub>2</sub>CL<sub>6</sub>、SiHCL<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>、SiH<sub>2</sub>CL<sub>2</sub>和 Si<sub>2</sub>CL<sub>3</sub>F<sub>3</sub>等气态的或容易气化的化合物。

包含锗原子的可气化化合物具体可包括 GeH<sub>4</sub>、GeD<sub>4</sub>、GeF<sub>4</sub>、GeFH<sub>3</sub>、GeF<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、GeF<sub>3</sub>HGeHD<sub>3</sub>、GeH<sub>2</sub>D<sub>2</sub>、GeH<sub>3</sub>D、Ge<sub>2</sub>H<sub>6</sub>和 Ge<sub>2</sub>D<sub>6</sub>。

包含碳原子的可气化化合物可具体包括 CH<sub>4</sub>、CD<sub>4</sub>C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>（n 是整数）、C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>（n 是整数）、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>、C 和 CO。

包含氮的化合物可包括 N<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、ND<sub>3</sub>、NO、NO<sub>2</sub>和 N<sub>2</sub>O。

包含氧的化合物可包括 O<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH

和  $\text{CH}_3\text{OH}$ 。

包含在 p 型层或 n 型层中以控制价电子的材料, 可包括周期表的 III 族原子和 V 族原子。

有效地用作包含 III 族原子的起始材料的材料, 可具体包括: 作为用于包含硼原子的材料, 诸如  $\text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{B}_4\text{H}_{10}$ 、 $\text{B}_5\text{H}_9$ 、 $\text{B}_5\text{H}_{11}$ 、 $\text{B}_6\text{H}_{10}$ 、 $\text{B}_6\text{H}_{12}$  和  $\text{B}_6\text{H}_{14}$  的硼的氢化物, 以及诸如  $\text{BF}_3$  和  $\text{BCl}_3$  的卤化硼。另外, 这些材料还可包括  $\text{AlCl}_3$ 、 $\text{GaCl}_3$ 、 $\text{InCl}_3$  和  $\text{TlCl}_3$ 。 $\text{B}_2\text{H}_6$  和  $\text{BF}_3$  是特别适合的。

可有效地用作包含 V 族原子的起始材料的材料, 可具体包括: 作为用于包含磷原子的材料, 诸如  $\text{PH}_3$  和  $\text{P}_2\text{H}_4$  的磷的氢化物以及诸如  $\text{PH}_4\text{I}$ 、 $\text{PF}_3$ 、 $\text{PF}_5$ 、 $\text{PCL}_3$ 、 $\text{PCL}_5$ 、 $\text{PBr}_3$ 、 $\text{PBr}_5$  和  $\text{PI}_3$  的卤化磷。另外, 这些材料还可包括  $\text{AsH}_3$ 、 $\text{AsF}_3$ 、 $\text{AsCl}_3$ 、 $\text{AsBr}_3$ 、 $\text{AsF}_5$ 、 $\text{SbH}_3$ 、 $\text{SbF}_3$ 、 $\text{SbF}_5$ 、 $\text{SbCl}_3$ 、 $\text{SbCl}_5$ 、 $\text{BiH}_3$ 、 $\text{BiCl}_3$  和  $\text{BiBr}_3$ 。 $\text{PH}_3$  和  $\text{PF}_3$  是特别适合的。

这些可气化化合物可在它们被诸如  $\text{H}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{Ne}$ 、 $\text{Ar}$ 、 $\text{Xe}$  或  $\text{Kr}$  的气体所适当稀释之后被送进到淀积腔中。

特别是当淀积具有较小的吸收或宽带隙的层—诸如微晶半导体层和 a-SiC:H 层—时, 材料气体较好地用氢气稀释到 1/2 至 1/100, 然后供给较高功率的微波功率或 RF 功率。

#### —透明电极—

在本发明中, 透明电极 115 是设置在光入射侧上的光透射电极, 并在得到控制从而具有优化的层厚度时被作为反射防止膜。透明电极 115 必须在半导体层能够吸收光的波长范围内具有高透射率, 并具有低反射率。它在 550nm 较好地是具有 80% 以上且更好地是 85% 以上的透射率。它还较好地是具有  $5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$  或更低的电阻率, 更好地是具有  $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$  或更低的电阻率。作为用于其的材料, 较好地是采用诸如  $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SnO}_2$ 、ITO ( $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{SnO}_2$ )、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{CdO}$ 、 $\text{Cd}_2\text{SnO}_4$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MoO}_3$  以及  $\text{Na}_2\text{WO}_3$  等导电氧化物或这些材料中的任何材料的混合物。还可以在这些化合物中加入能够改变传导性 (即掺杂物) 的元素。

作为能够改变传导性的元素 (掺杂物), 在其中透明电极 115 是用  $\text{ZnO}$  制成的情况下较好地是采用 Al、In、B、Ga、Si 和 F; 当用  $\text{In}_2\text{O}_3$  制成时采用 Sn、F、Te、Ti、Sb 和 Pb, 当用  $\text{SnO}_2$  制成时采用 F、Sb、

P、As、In、Tl、Te、W、Cl、Br 和 I。

作为形成透明电极的方法，较好地是采用真空淀积、CVD、喷涂、旋涂处理 (spin-on processing) 和浸渍。

#### —集电电极—

在本发明中，当不能使透明电极 115 具有足够低的电阻率时，可在透明电极 115 的一部分上设置集电电极 116，并使集电电极 116 起减小电极的电阻并减小光电器件的串联电阻的作用。用于其的材料可包括诸如金、银、铜、铝、镍、铁、铬、钼、钨、钛、钴、钽、铌和锆的金属或诸如不锈钢的合金，以及利用粉末金属的导电糊。作为其形状，该电极可以被形成成为分支形的，从而使入射到半导体层上的光尽可能不被遮断。

在光电器件的全部区域中，集电电极较好地是覆盖不超过 15% 的面积，更好地是不超过 10%，且最好是不超过 5%。

集电电极的图案可以用掩膜形成，且作为其方法，可以借助真空淀积、溅射、镀、印刷等。

当利用本发明的光电器件制造具有所希望的输出电压和输出电流的光电设备时，把本发明的多个光电器件串联或并联，在顶表面和背表面上形成保护膜，并连接上用于集电极输出的电极。在其中本发明的光电器件串联的情况下，在某些情况下包含了用于防止反向电流的二极管。

#### 例子

例 1 至 8 是底电池中的 i 型半导体层 105 是由非晶硅锗形成的例子。在例 9 至 20 中，底电池中的 i 型半导体层 105 是用微晶硅锗制成的。

#### 例 1

图 1 所示的光电器件是利用图 4A 和 4B 所示的淀积设备制成的。

在图 4A 和 4B 中，标号 400 表示一个多腔分离式淀积设备；401 表示一个装载锁定腔（装载腔）；402 表示一个 n 型层（或 p 型层）输送腔；403 表示一个 MW（微波）或 RF i 型半导体层输送腔；404 表示一个 p 型层（或 n 型层）输送腔；405 表示一个卸载腔；406、407、408 和 409 表示门阀；410、411 和 412 表示基底加热器；413 表示基底输送轨；417 表示 n 型层（或 p 型层）淀积腔；420 表示 RF 形成杯；422 表示 RF 电源；418 表示 MW 或 RF i 型半导体层淀积腔；425 表示 MW 引入窗口；426 表示

MW 引入波导; 427 表示 MWi 型层淀积快门 ( shutter ); 428 表示偏置电极 ( 偏置杆 ); 424 表示偏压施加电源; 419 表示 p 型层 ( 或 n 型层 ) 淀积腔; 421 表示 RF 形成杯; 423 表示 RF 电源; 429 表示气体输送管, 430、431、432、433、434、441、442、443 和 444 表示停止阀; 且 436、437、438 和 439 表示流量控制器, 它们构成了 n 型层 ( 或 p 型层 ) 淀积的气体供给系统; 449 表示气体输送管, 450、451、452、453、454、455、461、462、463、464、和 465 表示停止阀, 且 456、457、458、459 和 460 表示流量控制器, 它们构成了 MW 或 RF i 型层淀积的气体供给系统; 且 469 表示气体输送管, 470、471、472、473、474、481、482、483 和 484 表示停止阀, 且 476、477、478、和 479 表示流量控制器, 它们构成了 p 型层 ( 或 n 型层 ) 淀积的气体供给系统。

淀积设备 400 能够进行 MWPCVD ( 微波等离子体化学汽相淀积 ) 和 RFPCVD ( 射频等离子体化学汽相淀积 )。利用这种设备, 在具有光反射层 101 和 102 的基底 490 上形成了相应的半导体层。

#### ( 准备设置 )

材料气体筒 ( 未显示 ) 通过气体输送管与淀积设备相连。该材料气体筒都是净化至极高纯度的, 并连接了一个  $\text{Si}_4$  气体筒、一个  $\text{CH}_4$  气体筒、一个  $\text{GeH}_4$  气体筒、一个  $\text{Si}_2\text{H}_6$  气体筒、一个  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  ( 稀释: 2.0% ) 气体筒、一个  $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  ( 稀释: 2.0% ) 气体筒、一个  $\text{H}_2$  气体筒、一个 He 气体筒、一个  $\text{SiCl}_2\text{H}_2$  气体筒和一个  $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  ( 稀释: 2% ) 气体筒。

随后, 其上形成了金属层 101 和透明导电层 102 的基底 490 被置于设置在装载腔 401 中的基底输送轨 413 上, 且装载腔 401 的内部借助一个真空泵 ( 未显示 ) 被抽真空, 以具有约  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

随后, 门阀 406 被打开, 以把基底输送到借助真空泵 ( 未显示 ) 事先抽真空的输送腔 402 中, 且随后该基底通过向下移动基底加热器 410 而被推下到淀积腔 417 中。随后, 基底 490 以使其背面与基底加热器 410 相紧密接触的方式而得到加热。随后, 淀积腔 417 的内部借助真空泵 ( 未显示 ) 被抽真空, 以具有约  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

#### ( 第三 PIN 结构的 RF n 型层的形成 )

$\text{H}_2$  气体通过气体输送管 429 被送进到淀积腔 417 中。随后, 阀 441、431

和 430 被打开, 且  $H_2$  气体的流量借助流量控制器 436 而得到控制, 从而处于 300sccm。淀积腔 417 内的压强借助一个导通阀 (未显示) 而得到控制, 从而处于 1.0 毛。基底加热器 410 得到设定, 从而使基底 490 的温度达到  $380^\circ C$ 。在基底温度变得稳定时, 阀 443、433、444 和 434 被打开, 以通过气体输送管 429 而供给  $SiH_4$  气体和  $PH_3/H_2$  气体至淀积腔 417 中。这里,  $SiH_4$  气体的流量、 $H_2$  气体流量和  $PH_3/H_2$  气体流量借助流量控制器 436、438 和 439 而得到控制, 从而分别为 2.2sccm、80sccm 和 100sccm, 且淀积腔 417 内的压强被控制在 1.3 毛。

随后, 高频 (以下称为 RF) 电源 422 的功率被设定为  $0.05W/cm^2$ 、且 RF 功率被提供到等离子体形成杯 420, 以产生辉光放电。因此, 在基底上开始形成第三 PIN 结构的 RF n 型层, 且形成具有 10nm 的层厚度的层, 此时关断 RF 电源以停止辉光放电, 从而完成第三 PIN 结构的 RF n 型层 103 的形成。 $SiH_4$  气体、 $PH_3/H_2$  气体和  $H_2$  气体停止流入淀积腔 417, 且随后淀积腔内部和气体管内部被抽真空以具有  $1 \times 10^{-4}$  毛的压强。基底加热器 410 返回到原始位置, 且基底 490 (和如此形成的层) 被送回到基底输送轨 413 上。

#### (第三 PIN 结构的 i 型层的形成)

随后, 以如下方式相继地形成由 a-Si 构成的 RF i 型层 104 (一个缓冲层)、由 a-SiGe 构成的 MW i 型层 105 和由 a-Si 构成的一个 RF i 型层 106 — 它们都是第三 PIN 结构的。

首先, 门阀 407 被打开, 以把基底 490 (和形成在其上的层) 送入借助真空泵 (未显示) 而事先抽真空的输送腔 403 和 i 型层淀积腔 418 中。基底 490 以使其背面与基底加热器 411 相紧密接触的方式而得到加热。随后, i 型层淀积腔 418 的内部借助一个真空泵 (未显示) 而被抽真空, 从而具有约  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

为了形成第三 PIN 结构的 RF i 型层 104, 基底加热器 411 得到设定以使基底 490 的温度达到  $300^\circ C$ 。在基底被加热好时, 阀 464、454、450、463 和 453 被缓慢地打开, 以使  $Si_2H_6$  和  $H_2$  气体通过气体输送管 449 流入 i 型层淀积腔 418。这里,  $Si_2H_6$  气体流量和  $H_2$  气体流量借助相应的流量控制器 459 和 458 而分别被控制在 3.5sccm 和 100sccm。i 型层淀积腔 418 内

的压强，通过调节导通阀（未显示）的打开，而被控制在 0.65 毛。

随后，RF 电源 424 的功率被设定为  $0.008\text{W}/\text{cm}^3$ ，并被加到偏压杆 428，以产生辉光放电，且快门 427 被打开。因此，开始在 RF n 型层上形成 i 型层，且形成了层厚度为 10nm 的 i 型层，此时停止 RF 辉光放电并停止来自 RF 电源 424 的输出，以完成 RF i 型层 104 的形成。

阀 464、454、453 和 450 被关闭，以使  $\text{Si}_2\text{H}_6$  气体和  $\text{H}_2$  气体停止流入 i 型层淀积腔 418，且随后 i 型层淀积腔 418 的内部和气体管的内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

为了形成第三 PIN 结构的 MW i 型层 105，基底加热器 41 得到设定，从而使基底 490 的温度达到  $380^\circ\text{C}$ 。在基底被加热好时，阀 461、451、450、462、452、463 和 453 被缓慢打开，以使  $\text{SiH}_4$  气体、 $\text{GeH}_4$  气体和  $\text{H}_2$  气体通过气体输送管 449 流入 i 型层淀积腔 418。这里， $\text{SiH}_4$  气体流量、 $\text{GeH}_4$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量通过相应的流量控制器 456、457 和 458 而分别被控制在 48sccm、51sccm 和 170sccm。i 型层淀积腔 418 内部的压强，通过调节导通阀（未显示）的打开，而被控制在 10 毫毛。

RF 电源 424 的功率被设定为  $0.32\text{W}/\text{cm}^3$ ，并被加到偏压杆 428 上。随后，微波电源（2.45GHz）（未显示）的功率被设定为  $0.10\text{W}/\text{cm}^3$ ，且该微波功率通过波导 426 和微波引入窗口 425 而被引入 i 型层淀积腔 418，以产生辉光放电，且快门 427 被打开。因此，开始在第三 PIN 结构的 RF i 型层上形成第三 PIN 结构的 MW i 型层，且形成了层厚度为  $0.17\ \mu\text{m}$  的 i 型层，此时停止微波辉光放电和来自偏压电源 424 的输出被停止，以完成第三 PIN 结构的 MW i 型层 105 的形成。阀 451、452 和 453 被关闭，以停止至 i 型层淀积腔 418 的  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{GeH}_4$  和  $\text{H}_2$  气体流入，且随后 i 型层淀积腔 418 的内部和气体管内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

以下结合一个放大图（图 4B）对 i 型层淀积腔 418 的内部进行描述。

为了形成第三 PIN 结构的 RF i 型层 106，基底加热器 41 得到设定以使基底 490 的温度达到  $300^\circ\text{C}$ 。当基底被加热好时，阀 464、454、450、463 和 453 被缓慢打开，以使  $\text{Si}_2\text{H}_6$  和  $\text{H}_2$  气体通过气体输送管 449 而流入 i 型层淀积腔 418。这里， $\text{Si}_2\text{H}_6$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量，借助相应的流量控制器 459 和 458 而分别被控制在 3.5sccm 和 100sccm。i 型层淀积腔 418

内的压强，通过调节导通阀（未显示）的打开，而被控制为 0.65 毛。

随后，RF 电源 424 的功率被设定为  $0.008\text{W}/\text{cm}^3$  并被加到偏压杆 428，以产生辉光放电，且快门 427 被打开。因此，开始在第三 PIN 结构的 MWi 型层上形成第三 PIN 结构的 RF i 型层，且形成了层厚度为 23nm 的 i 型层，此时 RF 辉光放电被停止和从 RF 电源 424 的输出被停止，以完成第三 PIN 结构的 RF i 型层 106 的形成。阀 464、454、453 和 450 被关闭，以使  $\text{Si}_2\text{H}_6$  和  $\text{H}_2$  气体停止流入 i 型层淀积腔 418，且随后 i 型层淀积腔 418 和气体管内部的被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

#### （第三 PIN 结构的 RF p 型层的形成）

为了形成由 SiC 构成的第三 PIN 结构的 RF p 型层 107，首先打开门阀 408 以把基底 490（和形成在其上的层）送到输送腔 404 和借助真空泵（未显示）事先抽真空的 p 型层淀积腔 419 中。基底 490 以使其背面与基底加热器 412 相紧密接触的方式，而得到加热。随后，p 型层淀积腔 419 的内部借助真空泵（未显示）被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

基底加热器 412 得到设定，以使基底 490 的温度达到  $300^\circ\text{C}$ 。当基底温度变得稳定时，阀 481、471、470、482、472、483、473、484 和 474 得到操作，以把  $\text{H}_2$ 、 $\text{SiH}_4/\text{H}_2$ 、 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  气体和  $\text{CH}_4$  气体通过气体输送管 469 送到淀积腔 419 中。这里， $\text{H}_2$  气体流量、 $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  气体流量、 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  气体流量和  $\text{CH}_4$  气体流量分别借助流量控制器 476、477、478 和 479 而被控制在 80sccm、3sccm、9sccm 和 0.1sccm，且淀积腔 419 内部的压强通过调节导通阀（未显示）的打开而被控制在 1.8 毛。

随后，RF 电源 423 的功率被设定为  $0.07\text{W}/\text{cm}^3$ ，且该 RF 功率被供给到等离子体形成杯 421，以产生辉光放电。因此，开始在 i 型层上形成第三 PIN 结构的 RF p 型层，且形成了层厚度为 10nm 的 RF p 型层，此时关断 RF 电源，以停止辉光放电，从而完成第三 PIN 结构的 RF p 型层 107 的形成。阀 472、482、473、483、474、484、471、481 和 470 被关闭，以停止  $\text{SiH}_4/\text{H}_2$ 、 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{H}_2$  气体至 p 型层淀积腔 419 的流入，且随后 p 型层淀积腔 419 和气体管内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

#### （第二 PIN 结构的 RF n 型层的形成）

为了形成第二 PIN 结构的 RF n 型层 109，门阀 408 被打开，以把基

底 490 (和所形成的上述层)运送到借助真空泵(未显示)事先抽真空的输送腔 403 中,且门阀 407 也被打开以把基底 490 输送到借助一个真空泵(未显示)事先抽真空的输送腔 402 和 n 型层淀积腔 417 中。

基底 490 以使其背面与基底加热器 410 相紧密接触的方式而得到加热。随后,借助一个真空泵(未显示)把 n 型层淀积腔 417 的内部抽真空至约  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

基底加热器 410 得到设定,以使基底 490 的温度达到  $320^{\circ}\text{C}$ 。当基底温度变得稳定时,操作阀 443、433、444 和 434 以把  $\text{SiH}_4$  和  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体通过气体输送管 429 送入淀积腔 417。这里,  $\text{SiH}_4$  气体流量、 $\text{H}_2$  气体流量和  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体流量借助流量控制器 438、436 和 439 而分别被控制在 1 sccm、150 sccm 和 8 sccm,且淀积腔 41 内部的压强被控制在 1.2 托。

随后, RF 电源 422 的功率被设定为  $0.07\text{W}/\text{cm}^3$ ,且 RF 功率被送到等离子体形成杯 420 以产生辉光放电。因此,开始在第三 PIN 结构的 RF p 型层上形成第二 PIN 结构的 RF n 型层,且形成层厚度为 100nm 的 RF n 型层,此时关断 RF 电源停止辉光放电,从而完成第二 PIN 结构的 RF n 型层 109 的形成。 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{PH}_3/\text{H}_2$  和  $\text{H}_2$  气体至淀积腔 41 的流入被停止,且随后淀积腔的内部和气体管的内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

#### (第二 PIN 结构的 i 型层的形成)

为了形成包括  $\mu\text{-c-Si}$  的第二 PIN 结构的 i 型层 110,门阀 407 被打开以把基底 490 (和形成的上述层)送入借助一个真空泵(未显示)事先抽真空的输送腔 403 和 i 型层淀积腔 418 中。

基底加热器 411 得到设定以使基底 490 的温度达到  $380^{\circ}\text{C}$ 。当基底被加热好时,阀 461、451、450、462、452、463 和 453 被缓慢打开,以使  $\text{SiH}_4$  和  $\text{H}_2$  气体通过气体输送管 449 流入 i 型层淀积腔 418。这里,  $\text{SiH}_4$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量借助相应的流量控制器 456 和 458 而分别被控制在 50 sccm 和 1500 sccm。i 型层淀积腔 418 的内部通过调节导通阀(未显示)的打开而被控制在 0.03 托。

随后, RF 电源 424 的功率被设定为  $0.15\text{W}/\text{cm}^3$ ,并被加到偏压杆 428 上。随后,微波电源( $0.5\text{GHz}$ )(未显示)被设定为  $0.10\text{W}/\text{cm}^3$ ,且该微波功率通过偏压杆 428 而被馈送到 i 型层淀积腔 418 中,以产生辉光放电。

因此, 开始在第二 PIN 结构的 RF n 型层上形成第二 PIN 结构的 i 型层, 并形成层厚度为  $1.5 \mu\text{m}$  的层, 此时停止辉光放电和来自偏压电源 424 的输出, 以完成第二 PIN 结构的 i 型层 110 的形成。阀 451 和 453 被关闭, 以使  $\text{SiH}_4$  和  $\text{H}_2$  气体停止流入 i 型层淀积腔 418, 且随后 i 型层淀积腔 418 和气体管的内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

#### (第二 PIN 结构的 RF p 型层的形成)

为了形成包括 SiC 的第二 PIN 结构的 RF p 型层 111, 基底 490 (和形成在上面的层) 以与第三 PIN 结构的 RF p 型层 107 相同的方式得到运送。用于第三 PIN 结构的 RF p 型层的随后的步骤得到重复, 只是借助流量控制器把  $\text{H}_2$  气体流量、 $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  气体流量、 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  气体流量和  $\text{CH}_4$  气体流量分别控制在 80sccm、3sccm、9sccm 和 0.2sccm, 且淀积在  $260^\circ\text{C}$  的基底温度下进行。

#### (第一 PIN 结构的 RF n 型层的形成)

为了形成由 a-Si 构成的第一 PIN 结构的 RF n 型层 112, 首先打开门阀 408 以把基底 490 (和形成在上面的层) 运送到借助一个真空泵 (未显示) 事先抽真空的输送腔 403 中, 且门阀 407 也被打开以把基底 490 输送到借助一个真空泵 (未显示) 事先抽真空的输送腔 402 和 n 型层淀积腔 417 中。

用于第二 PIN 结构的 RF n 型层的随后的步骤得到重复, 只是借助流量控制器 438、436 和 439 把  $\text{SiH}_4$  气体流量、 $\text{H}_2$  气体流量和  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体流量分别控制在 1.1sccm、50sccm 和 10sccm, 淀积腔 417 内部的压强被控制在 1.05 毛, 且基底加热器 410 得到设定以使基底 490 的温度达到  $230^\circ\text{C}$ 。因此, 形成了第一 PIN 结构的 RF n 型层 112。

#### (第一 PIN 结构的 RF i 型层的形成)

为了形成包括 a-Si 的第一 PIN 结构的 RF i 型层 113, 以与形成第三 PIN 结构的 RF i 型层 104 相同的方式运送基底 490 (和形成在上面的层)。用于第三 PIN 结构的 RF i 型层 104 的随后的步骤得到重复, 只是基底温度被设定为  $190^\circ\text{C}$ ,  $\text{Si}_2\text{H}_6$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量借助相应的流量控制器 464 和 463 而分别被控制在 2sccm 和 200sccm, 淀积腔 417 内部的压强被控制在 0.8 毛, 且 RF 功率被设定为  $0.007\text{W}/\text{cm}^2$ 。因此, 形成了层厚度 0.09

$\mu\text{m}$  的 RF i 型层 113。

(第一 PIN 结构的 RF p 型层的形成)

为了形成包括 SiC 的第一 PIN 结构的 RF p 型层 114, 以与形成第三 PIN 结构的 RF p 型层 107 相同的方式运送基底 490 (和形成在上面的层)。用于第三 PIN 结构的 RF p 型层的随后的步骤得到了重复, 只是  $\text{H}_2$  气体流量、 $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  气体流量、 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  气体流量和  $\text{CH}_4$  气体流量借助流量控制器而分别被控制在 90sccm、3sccm、8sccm 和 0.4sccm, 且淀积是在  $170^\circ\text{C}$  的基底温度下进行的。

随后, 门阀 409 被打开以把基底 490 (和形成在上面的层) 运送到借助真空泵 (未显示) 事先抽真空的卸载腔 405 中, 且一个泄漏阀 (未显示) 被打开以使一气体从卸载腔 405 中逃出。

(透明导电层和集电电极)

随后, 在第一 PIN 结构的 RF p 型层 114 上, 借助真空淀积淀积出层厚度 70nm 的 ITO, 作为透明电极 115。

随后, 在透明电极 115 上, 设置带有梳状开口的掩膜, 且借助真空淀积形成包括 Cr (40nm)/Ag (1000nm)/Cr (40nm) 的梳状集电电极 116。

因此, 完成了本例的光电器件的制作。该光电器件在此被称为 SCEX-1。

比较例 1-1

在例 1 中, 第三 PIN 结构的 n 型层具有 a-Si, 第三 PIN 结构的 i 型层具有 a-SiGe、第二 PIN 结构的 n 型层具有 a-Si 且第二 PIN 结构的 i 型层具有 a-Si, 它们都是利用 RF 功率形成的。因此, 产生了光电器件 SCCp-1-1。上述以外的 p 型、i 型和 n 型层也是用与例 1 中相同的方式形成的。

气体流量和其他的条件如表 5 所示。

对光电器件 SCEX-1 和 SCCp-1-1 中的每一个, 制备了五个样品, 且测量它们的起始光电转换效率、短路电流、在  $35^\circ\text{C}$  暴露于 AM 1.5 ( $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ) 2000 小时 (以下称为“光衰退速率”) 时效率相对于初始效率的损失、在  $85^\circ\text{C}$  和 80%RH 的湿度下在暗处 2000 小时之后的效率 (以下称为“耐热性衰退速率”)、电池耐压、以及输出。初始光电转换效率是通过在把所产生的光电器件暴露于 AM 1.5 ( $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ) 的光时测量 V-I 特性而确定的。作为测量的结果, 以 SCEX-1 的特性为 1 时 SCCp-1-1 的

特性如下: 初始光电转换效率: 0.89 倍; 短路电流: 0.92 倍; 光衰退速率: 1.08 倍; 耐热性衰退速率: 1.15 倍; 电池耐压: 0.94 倍; 输出量: 0.94 倍。

其中所有 i 型层中只有中间电池 i 型层是微晶的器件的特性比其中所有 i 型层都是非晶的器件的好。

#### 比较例 1-2

重复例 1 的步骤, 只是只利用 RF 功率形成包括非晶硅锗的第三 PIN 结构的 MW i 型半导体层 105,  $\text{SiH}_4$  气体流量、 $\text{GeH}_4$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量借助相应的流量控制器 456、457 和 458 而分别被控制在 4sccm、3sccm 和 200sccm, 且 i 型层淀积腔 418 内部的压强被控制在 0.8 毛, 从而形成了层厚度为  $0.1 \mu\text{m}$  的 RF i 型半导体层。

作为类似地进行的测量的结果, 以 SCEX-1 的特性为 1 时 SCCp-1-2 的特性如下: 初始光电转换效率: 0.92 倍; 光衰退速率: 1.05 倍; 耐热性衰退速率 1.13 倍; 电池耐压: 0.96 倍; 输出量: 0.98 倍。

如上所述, 与只利用 RF 功率进行的膜形成相比, 利用微波功率进行的膜形成增大了膜形成的速率并能够进行高温膜形成, 因而还增大了先质的迁移性以产生出具有良好质量的膜。与只利用 RF 功率形成的膜相比, 在光衰退速率方面也获得了更好的结果。

#### 例 2

在例 1 中, 包括  $\mu\text{c-Si}$  的第二 PIN 结构的 i 型半导体层是利用微波电源 (2.45GHz) 代替微波电源 (0.5GHz) 而以如下方式形成的。

基底加热器 411 得到设定, 从而使基底 490 的温度达到  $380^\circ\text{C}$ 。当基底被加热好时, 阀 461、451、450、462、452、463 和 453 被缓慢打开, 以使  $\text{SiH}_4$  和  $\text{H}_2$  气体通过气体输送管 449 流入 i 型层淀积腔 418。这里,  $\text{SiH}_4$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量借助相应的流量控制器 456 和 458 而分别被控制在 25sccm 和 500sccm。i 型层淀积腔 418 内部的压强, 通过调节导通阀 (未显示) 的打开, 而被控制在 0.02 毛。

随后, RF 电源 424 的功率被设定为  $0.15\text{W}/\text{cm}^2$ , 并被加到偏压杆 428。随后, 微波电源 (2.45GHz) 的功率被设定为  $0.10\text{W}/\text{cm}^2$ , 且该微波功率通过偏压杆 428 被馈送到 i 型层淀积腔 418 中, 以造成辉光放电。因此, 开

始在第二PIN结构的RF n型层上形成第二PIN结构的i型层, 且形成层厚度为 $0.5\ \mu\text{m}$ 的i型层, 此时停止辉光放电和来自偏压电源424的输出, 以完成第二PIN结构的i型层110的形成。

阀451和453被关闭, 以使 $\text{SiH}_4$ 气体和 $\text{H}_2$ 气体停止流入i型层淀积腔418, 且随后i型层淀积腔418的内部和气体管的内部被抽真空至 $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

如此获得的光电器件被称为SCEX-2。气体流量和其他条件如表6所示。

### 比较例2

在例2中, 第三PIN结构的n型层具有a-Si, 第三PIN结构的i型层具有a-SiGe, 第二PIN结构的n型层具有a-Si, 且第二PIN结构的i型层具有a-Si, 它们都是利用RF功率形成的。因此, 产生了光电器件SCCP-2。上述以外的p型、i型和n型层是以与例1中相同的方式形成的。

气体流量和其他条件如表7所示。

对于光电器件SCCP-2和SCEX-2中的每一个, 都制备了四个样品, 且测量它们的初始光电转换效率、短路电流、光衰退速率、耐热性衰退速率、电池耐压和输出量。

作为测量结果, 以SCEX-2的特性为1的SCCP-2的特性如下: 初始光电转换效率: 0.89倍; 短路电流: 0.94倍; 光衰退速率: 1.12倍; 耐热性衰退速率: 1.13倍; 电池耐压: 0.95倍; 输出量: 0.93倍。

可见本发明的光电器件具有优越的特性。

### 例3

在例1中, 包括 $\mu\text{c-Si}$ 的第二PIN结构的i型层110以如下改变的气体流量而形成。

$\text{SiH}_4$ 气体流量和 $\text{H}_2$ 气体流量借助相应的流量控制器456和458而分别被控制在50sccm和1500sccm。i型层淀积腔418内部的压强, 通过调节导通阀(未显示)的打开, 而被控制在0.03毛。随后, RF电源424的功率被设定为 $0.15\text{W}/\text{cm}^2$ , 并被加到偏压杆428。随后, 微波电源(0.5GHz)(未显示)被设定为 $\text{W}/\text{cm}^2$ , 且该微波功率通过偏压杆428而被馈送到i型层淀积腔418中, 以造成辉光放电。因此, 开始在第二PIN结构的RF n型

层上形成第二PIN结构的i型层,且形成具有层厚度 $1.0\mu\text{m}$ 的i型层,此时停止辉光放电和从偏压电源424的输出,以完成第二PIN结构的i型层110的形成。以相同的方式,制备八个样品,其中只有包括 $\mu\text{c-Si}$ 的第二PIN结构的i型层110的层厚度在 $0.1\mu\text{m}$ 至 $2.5\mu\text{m}$ 的范围中改变,且它们的初始光电转换效率、短路电流、开路电压、填充因子、光衰退速率和输出量得到测量。

所获得的结果如表1所示。

对于初始光电转换效率,当包括 $\mu\text{c-Si}$ 的第二PIN结构的i型层110的层厚度从 $0.3\mu\text{m}$ 至 $2.2\mu\text{m}$ 时,获得了具有优越特性的器件。填充因子显示了随着第二PIN结构的i型层110的层厚度的增大而减小的趋向,且光衰退速率显示了随着第二PIN结构的i型层110的层厚度的增大而增大的趋向。对于短路电流、开路电压和输出量,随着第二PIN结构的i型层110的层厚度的增大,显示出良好的结果。

#### 例4

在例1中,第二PIN结构的n型层109是以相同的方式形成的,且包括 $\mu\text{c-Si}$ 的第二PIN结构的i型层110是在如下改变的气体流量下形成的。

$\text{SiH}_4$ 气体流量和 $\text{H}_2$ 气体流量借助相应的流量控制器456和458而分别被控制在 $50\text{sccm}$ 和 $1500\text{sccm}$ ,且 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$ 气体流量借助流量控制器460而得到控制以使第二PIN结构的i型层110的微晶硅中硼的含量在 $0\text{ppm}$ 至 $10.0\text{ppm}$ 的范围内,从而制成光电器件。其他的p型、i型和n型层以与例1相同的方式形成。第二PIN结构的i型层110中的硼含量是利用CAMECA公司制造的IMF-4F(交易名)测量的。所获得的结果显示在表2中。

当第二PIN结构的i型层110的硅中的硼含量为 $8.0\text{ppm}$ 或更低时,获得了具有优越初始光电转换效率、稳定的光电转换效率、光衰退速率和热退化之后的输出量的良好质量的i型层。

#### 例5

在例1中,第三PIN结构的MW i型层105是以如下改变的气体流量而形成的。

$\text{SiH}_4$ 气体流量和 $\text{H}_2$ 气体流量分别借助相应的流量控制器456和458而

分别被控制在 50sccm 和 150sccm，且  $\text{GeH}_4$  气体流量借助流量控制器 457 而得到控制，以在膜形成过程中增大。其他的 p 型、i 型和 n 型层以与例 1 中相同的方式形成。

所获得的结果显示在表 3 和 4 中。

当 i 型半导体层的非晶硅锗的锗含量处于 45 原子%或更大的范围时，不论  $\text{GeH}_4$  的气体流量是恒定还是渐变的，在本发明的光电器件中第三 PIN 结构的 i 型层都具有适合于吸收长波光的带隙，且在第三 PIN 结构中获得了足够的电流，从而改善了整体的效率。

#### 例 6

制成了光电器件 SCEx-6，其中例 1 中的第二 PIN 结构的 n 型半导体层被改变成具有如图 2 中所示的叠置结构—它包括非晶半导体和微晶半导体。在图 2 中，标号 208 表示一个 n 型非晶半导体 (a-Si) 层且 209 表示一个 n 型微晶半导体 ( $\mu\text{c-Si}$ ) 层。

为了形成包括 a-Si 的 RF n 型层 208，在形成了第三 PIN 结构的 p 型半导体层 207 之后，阀 443、433、444 和 434 被打开，以通过气体输送管 429 把  $\text{SiH}_4$  和  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体送到淀积腔 417 中。这里， $\text{SiH}_4$  气体流量、 $\text{H}_2$  气体流量和  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体流量，借助流量控制器 438、436 和 439，分别被控制在 2sccm、100sccm 和 5sccm，且淀积腔 417 内部的压强被控制在 1.0 毛。

随后，RF 电源 422 的功率被设定为  $0.03\text{W}/\text{cm}^2$ ，且该 RF 功率被馈送到等离子体形成杯 420，以造成辉光放电。因此，开始在第三 PIN 结构的 p 型层 207 上形成第二 PIN 结构的 RF n 型层，且形成层厚度为 20nm 的 RF n 型层，此时关断 RF 电源，以停止辉光放电，从而完成第二 PIN 结构的 RF n 型层 208 的形成。流入淀积腔 417 的  $\text{SiH}_4$  气体、 $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体和  $\text{H}_2$  气体被停止，且随后淀积腔内部和气体管内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

其他淀积层的形成方式与例 1 中的相同。

#### 比较例 3

在例 1 中，第二 PIN 结构的 RF n 型层具有 a-Si，且第二 PIN 结构的 i 型层具有 a-Si，从而产生了光电器件 SCCp-3。上述以外的 p 型、i 型和 n 型层是以与例 1 中相同的方式形成的。

对于光电器件 SCCp-3 和 SCEX-6 之每一种, 都制备六个样品, 且测量它们的初始光电转换效率、短路电流、光衰退速率、耐热性衰退速率、电池耐压和输出量。

作为测量结果, 以 SCEX-6 的特性为 1 时 SCCp-3 的特性如下: 初始光电转换效率: 0.93 倍; 短路电流: 0.93 倍; 光衰退速率: 1.08 倍; 耐热性衰退速率: 1.13 倍; 电池耐压: 0.96 倍; 输出量: 0.94 倍。

可见本发明的光电器件具有优越的特性。

#### 例 7

图 1 所示的三层型光电器件是利用采用图 5 所示的辊一至一辊系统的淀积设备而制成的。

在图 5 中, 标号 5010 表示一个用于馈送片状基底的装载腔, 5011 表示一个排放管, 5012 表示一个排放泵, 5201 表示一个气体门, 5301 表示至该气体门的一个气体输送管, 5020 表示用于第三 PIN 结构的 p 型层的一个淀积腔, 5021 表示一条排放管, 5022 表示一个排放泵, 5023 表示用于 RF 电源的一条同轴电缆, 5024 表示一个 RF 电源, 5025 表示材料气体馈送管, 5026 表示一个混合系统, 5202 表示一个气体门, 5302 表示至该气体门的一个气体输送管, 5030 表示用于第三 PIN 结构的 RF i 型半导体层 (n/i) 的淀积腔, 5031 表示一条排放管, 50332 表示一个排放泵, 5033 表示用于 RF 电源的同轴电缆, 5034 表示一个 RF 电源, 5035 表示一个材料气体馈送管, 5036 表示一个混合系统, 5203 表示一个气体门, 5303 表示至该气体门的气体输送管, 5040 表示用于第三 PIN 结构的 MWi 型半导体层的淀积腔, 5041 表示一个排放管, 5042 表示一个排放泵 (带有一个扩散泵), 5043 表示一个 MW 引入波导, 5044 表示一个 MW 电源, 5045 表示一条材料气体馈送管, 5046 表示一个混合系统, 5204 表示一个气体门, 5304 表示至该气体门的一条气体输送管, 5050 表示用于第三 PIN 结构的 RF i 型半导体层 (p/i) 的淀积腔, 5051 表示一个排放管, 5052 表示一个排放泵, 5053 表示用于 RF 电源的一条同轴电缆, 5054 表示一个 RF 电源, 5055 表示一条材料气体馈送管, 5056 表示一个混合系统, 5205 表示一个气体门, 5305 表示进行该气体门的一个气体输送管, 5060 表示用于第三 PIN 结构的 p 型半导体层的淀积腔, 5061 表示一个排放管, 5062 表示一

个排放泵, 5063 表示一个用于 RF 电源的同轴电缆, 5064 表示一个 RF 电源, 5065 表示一条材料气体馈送管, 5066 表示混合系统, 5206 表示一个气体门, 5306 表示至该气体门的气体输送管, 5070 表示用于第二 PIN 结构的 n 型半导体层的淀积腔, 5071 表示一个排放管, 5072 表示一个排放泵, 5073 表示用于 RF 电源的一条同轴电缆, 5074 表示一个 RF 电源, 5075 表示一条材料气体馈送管, 5076 表示一个混合系统, 5207 表示一个气体门, 5307 表示进行该气体门的一条气体输送管, 5090 表示用于第二 PIN 结构的 MW i 型半导体层的淀积腔, 5091 表示排放泵, 5092 表示排放泵(带有一个扩散泵), 5093 表示 MW 引入波导, 5094 表示一个微波电源, 5095 表示材料气体馈送管, 5096 表示一个混合系统, 5210 表示一个气体门, 5310 表示至该气体门的一个气体输送管, 5110 表示用于第二 PIN 结构的 p 型半导体层的淀积腔, 5111 表示一个排放管, 5112 表示一个排放泵, 5113 表示用于 RF 电源的同轴电缆, 5114 表示一个 RF 电源, 5115 表示一条材料气体馈送管, 5116 表示一个混合系统, 5211 表示一个气体门, 5311 表示至该气体门的一条气体输送管, 5120 表示用于第一 PIN 结构的 n 型半导体层的淀积腔, 5121 表示一条排放管, 5122 表示一个排放泵, 5123 表示用于 RF 电源的一条同轴电缆, 5124 表示一个 RF 电源, 5125 表示一条材料气体馈送管, 5126 表示一个混合系统, 5212 表示一个气体门, 5312 表示至该气体门的一条气体输送管, 5130 表示用于第一 PIN 结构的 RF i 型半导体层的淀积腔, 5131 表示一条排放管, 5132 表示一个排放泵, 5133 表示用于 RF 电源的一条同轴电缆, 5134 表示一个 RF 电源, 5135 表示一条材料气体馈送管, 5136 表示一个混合系统, 5213 表示一个气体门, 5313 表示至该气体门的一条气体输送管, 5140 表示用于第一 PIN 结构的 p 型半导体层的淀积腔, 5141 表示一条排放管, 5142 表示一个排放泵, 5143 表示用于 RF 电源的一条同轴电缆, 5144 表示一个 RF 电源, 5145 表示一条材料气体馈送管, 5146 表示一个混合系统, 5214 表示一个气体门, 5314 表示至该气体门的一个气体输送管, 5150 表示一个卸载腔, 5151 表示一条排放管, 5152 表示一个排放泵, 5400 表示卷绕在一个卷轴上的基底, 且 5402 表示一个卷绕夹具。

作为基底, 采用了 300m 长 30cm 宽且 0.2mm 厚的片状基底—在其上事

先形成有金属层和透明导电层。形成半导体层的条件如表 8 所示。

带有光反射层（金属层和透明导电层）的片状基底被置于装载腔 5010 中，以馈送基底。该片状基底通过所有的淀积腔和所有的气体门并与卸载腔 5150 中的片卷绕夹具相连。相应的淀积腔借助排放系统（未显示）被抽真空至  $10^{-3}$  托。所希望的材料气体从淀积膜形成混合系统 5026、5036、5046、5056、5066、5076、5096、5116、5126、5136 和 5146 被馈送到相应的淀积腔中。从相应的门气体馈送系统，气体被送到气体门 5201、5202、5203、5204、5205、5206、5207、5010、5211、5212、5213 和 5214。

该基底借助各个淀积系统中的基底加热器而被加热，且真空度通过调节各个排放系统的排放阀的打开而得到控制。在基底温度和真空度变得稳定之后，开始输送基底，且用于产生等离子体的 RF 功率或 MW（频率：0.5GHz，2.45GHz）功率被提供到各个淀积腔。以此方式，在 100m 长的片状基底上形成了具有如图 1 所示的叠置三 PIN 结构的三重式光电器件。在第二 PIN 结构的 i 型半导体层的形成中，施加了微波功率（0.5GHz）。

随后，在 RF p 型层 114 上，借助真空淀积，淀积出层厚度为 70nm 的 ITO，作为透明电极 115。在透明电极 115 上，设置带有梳状开口的掩膜，且借助真空淀积形成包括 Cr（40nm）/Ag（1000nm）/Cr（40nm）的梳状集电电极 116。因此，完成了本例的光电器件（SCEX-7）的制造。

这种光电器件，象在前述例中的器件一样，具有优越的特性，并保证了非常高的产量。

#### 比较例 4

在与例 7 相同的条件下，利用上述辊一至一辊系统产生出一个光电器件 SCCp-4，只是第二 PIN 结构的 RF n 型层具有 a-Si，且第二 PIN 结构的 i 型层具有 a-Si。

作为测量的结果，以 SCEX-7 的特性为 1，则 SCCp-4 的特性如下：初始光电转换效率：0.93 倍；短路电流：0.92 倍；光衰退速率：1.09 倍；耐热性衰退速率：1.12 倍；电池耐压：0.97 倍；输出量：0.92 倍。

可见本发明的光电器件具有优越的特性。

#### 例 8

在例 7 中, 第二 PIN 结构的 i 型半导体层是利用微波功率 ( 2.45GHz ) 取代微波功率 ( 0.5GHz ) 而形成的, 且如图 1 所示的三重式光电器件是利用采用如图 5 所示的辊—至—辊系统的淀积设备产生的。这种光电器件, SCEx-8, 象前述的例的器件一样, 具有优越的特性, 并还具有非常高的产量。把这种器件与比较例 4 的相比, 获得了以下的结果。

作为测量的结果, 以 SCEx-8 的特性为 1, 则 SCCp-4 的特性如下: 初始光电转换效率: 0.89 倍; 短路电流: 0.95 倍; 光衰退速率: 1.09 倍; 耐热性衰退速率: 1.08 倍; 电池耐压: 0.96 倍; 输出量: 0.95 倍。

可见本发明的光电器件具有优越的特性。

#### 例 9

利用图 4A 和 4B 中显示的淀积设备, 制成如图 1 所示的光电器件。在本例中, 层 105 是用微晶硅锗形成的, 且没有提供缓冲层 104。

淀积设备 400 能够进行 MWPCVD 和 RFPCVD。利用这种设备, 可以在具有光反射层 101 和 102 的基底 490 上形成相应的半导体层。

#### (准备设定)

材料气体筒 (未显示) 通过气体输送管与该淀积设备相连。这些材料气体筒都被提纯到了极高的纯度, 且一个  $\text{SiH}_4$  气体筒、一个  $\text{CH}_4$  气体筒、一个  $\text{GeH}_4$  气体筒、一个  $\text{Si}_2\text{H}_6$  气体筒、一个  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  (稀释: 2.0%) 气体筒、一个  $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  (稀释: 0.2%) 气体筒、一个  $\text{H}_2$  气体筒、一个 He 气体筒、一个  $\text{SiCl}_2\text{H}_2$  气体筒和一个  $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  (稀释: 2%) 气体筒得到了连接。

随后, 其上已经形成有光反射层 101 和 102 的基底 490 被置于设置在装载腔 401 中的基底输送轨 413 上, 且装载腔 401 的内部借助真空泵 (未显示) 而被抽真空至约  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

随后, 门阀 406 被打开, 以把基底输送到借助真空泵 (未显示) 而事先抽真空的输送腔 402 中, 且随后该基底通过向下移动基底加热器 410 而被推下到淀积腔 417 中。随后, 基底 490 以使其背面与基底加热器 410 紧密接触的方式而得到加热。随后, 淀积腔 417 的内部借助一个真空泵 (未显示) 被抽真空至约  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

#### (第三 PIN 结构的 RF n 型层的形成)

$\text{H}_2$  气体通过气体输送管 429 被馈送到淀积腔 417。随后, 阀 441、431

和 430 被打开, 且  $H_2$  气体流量借助流量控制器 436 而被控制在 300sccm。淀积腔 417 内部的压强借助一个导通阀 (未显示) 而被控制在 1.0 毛。基底加热器 410 得到设定, 以使基底 490 的温度达到  $380^\circ C$ 。当基底温度稳定时, 阀 443、433、444 和 434 被打开, 以把  $SiH_4$  气体和  $PH_3/H_2$  气体通过气体输送管 429 馈送到淀积腔 417 中。这里,  $SiH_4$  气体流量、 $H_2$  气体流量和  $PH_3/H_2$  气体流量, 借助流量控制器 438、436 和 439 而分别被控制在 1.2sccm、150sccm 和 8sccm, 且淀积腔 417 内部的压强被控制在 1.3 毛。

随后, 高频 (以下称为 “RF”) 电源 422 的功率被设定为  $0.07W/cm^3$ , 且 RF 功率被馈送到等离子体形成杯 420 以造成辉光放电。因此, 开始在基底上形成第三 PIN 结构的 RF n 型层, 且形成了层厚度  $0.1 \mu m$  的 RF n 型层, 此时关断 RF 电源以停止辉光放电, 从而完成包括  $\mu c-Si$  的第三 PIN 结构的 RF n 型层 103 的形成。 $SiH_4$  气体、 $PH_3/H_2$  气体和  $H_2$  气体至淀积腔 417 的流入被停止, 且随后淀积腔和气体管的内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

#### (第三 PIN 结构的 i 型层的形成)

随后, 以如下的方式相继形成第三 PIN 结构的包括  $\mu c-SiGe$  的 MW i 型层 105 和包括 a-Si 的 RF i 型层 106 (一个缓冲层)。

首先, 门阀 407 被打开, 以把基底 490 (和形成在上面的层) 运送到借助一个真空泵 (未显示) 事先抽真空的输送腔 403 和 i 型层淀积腔 418 中。基底 490, 以使其背面与基底加热器 411 相紧密接触的方式, 得到了加热。随后, i 型层淀积腔 418 的内部借助一个真空泵 (未显示) 被抽真空至至约  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

为了形成第三 PIN 结构的 MW i 型层 105, 基底加热器 411 得到设定, 以使基底 490 的温度达到  $420^\circ C$ 。当基底被加热好时, 使阀 461、451、450、462、452、463、和 453 缓慢打开, 以使  $SiH_4$ 、 $GeH_4$  和  $H_2$  气体通过气体输送管 449 流入 i 型层淀积腔 418。这里,  $SiH_4$  气体流量、 $GeH_4$  气体流量和  $H_2$  气体流量, 借助相应的流量控制器 456、457 和 458, 而分别被控制在 40sccm、40sccm 和 1500sccm。i 型层淀积腔 418 内部的压强, 通过调节导通阀 (未显示) 的打开, 而被控制在 30 毫毛。

随后, RF 电源 424 的功率被设定为  $0.15W/cm^3$ , 并被加到偏压杆 428。

随后，微波电源（0.5GHz）（未显示）的功率被设定为  $0.10\text{W}/\text{cm}^3$ ，且该微波功率通过偏压杆 428 而被馈送到 i 型层淀积腔 418 中，以造成辉光放电，且快门 427 被打开。因此，第三 PIN 结构的 MW i 型层开始在第三 PIN 结构的 RF n 型层上形成，且形成层厚度为  $1.5\ \mu\text{m}$  的 i 型层，此时停止微波辉光放电，且来自偏压电源 424 的输出被停止，以完成第三 PIN 结构的 MW i 型层 105 的形成。阀 451、452 和 453 被关闭，以使  $\text{SiH}_4$  气体、 $\text{GeH}_4$  气体和  $\text{H}_2$  气体停止流入 i 型层淀积腔 418，且随后 i 型层淀积腔 418 内部和气体管内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

为了形成第三 PIN 结构的 RF i 型层 106，基底加热器 411 得到设定，以使基底 490 的温度达到  $300^\circ\text{C}$ 。当基底被加热好时，阀 464、454、450、463 和 453 被缓慢打开，以使  $\text{Si}_2\text{H}_6$  气体和  $\text{H}_2$  气体通过气体输送管 449 而流入 i 型层淀积腔 418。这里， $\text{Si}_2\text{H}_6$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量，借助相应的流量控制器 459 和 458，而分别被控制在  $3.5\text{sccm}$  和  $100\text{sccm}$ 。i 型层淀积腔 418 内部的压强，通过调节导通阀（未显示）的打开，而被控制在  $0.65$  托。

随后，RF 电源 424 的功率被设定为  $0.008\text{W}/\text{cm}^3$  并被加到偏压杆 428，以造成辉光放电，且快门 427 被打开。因此，开始在第三 PIN 结构的 MW i 型层上形成第三 PIN 结构的 RF i 型层，且形成层厚度  $23\text{nm}$  的 i 型层，此时停止 RF 辉光放电，且 RF 电源 424 的输出被停止，以完成第三 PIN 结构的 RF i 型层 106 的形成。

阀 464、454、453 和 450 被关闭，以使  $\text{Si}_2\text{H}_6$  和  $\text{H}_2$  气体停止流入 i 型层淀积腔 418，且随后 i 型层淀积腔 418 的内部和气体管的内部被抽真空至至  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

#### （第三 PIN 结构的 RF p 型层的形成）

为了形成包括 SiC 的第三 PIN 结构的 RF p 型层 107，首先门阀 408 被打开，以把基底 490（和形成在上面的层）运送到借助一个真空泵（未显示）而事先抽真空的输送腔 404 和 p 型层淀积腔 419 中。基底 490 以使其背面与基底加热器 412 相紧密接触的方式而得到加热。随后，p 型层淀积腔 419 的内部借助真空泵（未显示）而被抽真空至约  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

基底加热器 412 得到设定，以使基底 490 的温度达到  $300^\circ\text{C}$ 。在基

底温度变得稳定时, 阀 481、471、470、482、472、483、473、484 和 474 得到操作, 以把  $H_2$ 、 $SiH_4/H_2$ 、 $B_2H_6/H_2$  和  $CH_4$  气体通过气体输送管 469 馈送到淀积腔 419 中。这里,  $H_2$  气体流量、 $SiH_4/H_2$  气体流量、 $B_2H_6/H_2$  气体流量和  $CH_4$  气体流量, 借助流量控制器 476、477、478 和 479, 而分别被控制在 80sccm、3sccm、9sccm 和 0.1sccm, 且淀积腔 419 内部的压强通过调节导通阀 (未显示) 的打开而被控制在 1.8 毛。

随后, RF 电源 423 的功率被设定为  $0.07W/cm^3$ , 且该 RF 功率被馈送到等离子体形成杯 421 以造成辉光放电。因此, 开始在 i 型层上形成第三 PIN 结构的 RF p 型层, 且形成层厚度为 10nm 的 RF p 型层, 此时关断 RF 电源以停止辉光放电, 从而完成第三 PIN 结构的 RF p 型层 107 的形成。阀 472、482、473、483、474、484、471、481 和 470 被关闭, 以使  $SiH_4/H_2$ 、 $B_2H_6/H_2$ 、 $CH_4$  和  $H_2$  气体停止流入 p 型层淀积腔 419, 且随后 p 型层淀积腔 419 的内部和气体管的内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。

#### (第二 PIN 结构的 RF n 型层的形成)

为了形成表示  $\mu$  c-Si 的第二 PIN 结构的 RF n 型层 109, , 门阀 408 被打开, 以把基底 490 (和形成在上面的层) 运送到借助一个真空泵 (未显示) 而事先抽真空的输送腔 403 中, 且门阀 407 也被打开以把基底 490 输送到借助一个真空泵 (未显示) 而事先抽真空的输送腔 402 和 n 型层淀积腔 417 中。

基底 490 以使其背面与基底加热器 410 紧密接触的方式得到加热, 然后, n 型层淀积腔 417 的内部, 借助一个真空泵 (未显示), 被抽真空至约  $1 \times 10^{-5}$  毛的压强。基底加热器 410 得到设定以使基底 490 的温度达到  $320^\circ C$ 。在基底温度变稳定时, 阀 443、433、444 和 434 得到操作, 以把  $SiH_4$  和  $PH_3/H_2$  气体通过气体输送管 429 而馈送到淀积腔 417 中。这里,  $SiF_4$  气体流量、 $H_2$  气体流量和  $PH_3/H_2$  气体流量, 借助流量控制器 438、436 和 439, 而分别被控制在 1sccm、150sccm 和 8sccm, 且淀积腔 417 内部的压强被控制在 1.2 毛。

随后, RF 电源 422 的功率被设定为  $0.07W/cm^3$ , 且该 RF 功率被馈送到等离子体形成杯 420, 以造成辉光放电。因此, 开始在第三 PIN 结构的 RF p 型层上形成第二 PIN 结构的 RF n 型层, 且形成层厚度 100nm 的 RF n 型层,

此时关断 RF 电源以停止辉光放电, 从而完成第二 PIN 结构的 RF n 型层 109 的形成。使  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{PH}_3/\text{H}_2$  和  $\text{H}_2$  气体停止流入淀积腔 417, 且随后淀积腔的内部和气体管的内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

#### (第二 PIN 结构的 i 型层的形成)

为了形成包括  $\mu$  c-Si 的第二 PIN 结构的 i 型层 110, 首先门阀 407 被打开, 以把基底 490 (和形成在上面的层) 运送到借助一个真空泵 (未显示) 而事先抽真空的输送腔 403 和 i 型层淀积腔 418 中。基底 490 以使其背面与基底加热器 411 相紧密接触的方式而得到加热。随后, i 型层淀积腔 418 的内部, 借助一个真空泵 (未显示), 被抽真空至约  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

基底加热器 411 得到设定, 以使基底 490 的温度达到  $380^\circ \text{C}$ 。在基底被加热好时, 阀 461、451、450、463 和 453 被缓慢打开, 以使  $\text{SiH}_4$  气体和  $\text{H}_2$  气体通过气体输送管 449 而流入 i 型层淀积腔 418。这里,  $\text{SiH}_4$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量, 借助相应的流量控制器 456 和 458, 而分别被控制在 50sccm 和 1500sccm。i 型层淀积腔 418 内部的压强, 通过调节导通阀 (未显示) 的打开, 被控制在 0.03 托。

随后, RF 电源 424 的功率被设定为  $0.15\text{W}/\text{cm}^3$ , 并被加到偏压杆 428 上。随后, 微波电源 ( $0.5\text{GHz}$ ) (未显示) 被设定为  $0.10\text{W}/\text{cm}^3$ , 且该微波功率通过偏压杆 428 而被馈送到 i 型层淀积腔 418 中, 以造成辉光放电。因此, 开始在第二 PIN 结构的 RF n 型层上形成第二 PIN 结构的 i 型层, 且形成层厚度为  $1.5 \mu\text{m}$  的层, 此时停止辉光放电, 且偏压电源 424 的输出被停止, 以完成第二 PIN 结构的 i 型层 110 的形成。阀 451 和 453 被关闭, 以使  $\text{SiH}_4$  和  $\text{H}_2$  气体停止流入 i 型层淀积腔 418, 且随后 i 型层淀积腔 418 的内部和气体管的内部被抽真空至至  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

#### (第二 PIN 结构的 RF p 型层的形成)

为了形成包括 SiC 的第二 PIN 结构的 RF p 型层 111, 基底 490 (和形成在上面的层) 以与形成第三 PIN 结构的 RF p 型层 107 相同的方式得到运送。用于第三 PIN 结构的 RF p 型层的随后步骤得到重复, 只是  $\text{H}_2$  气体流量、 $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  气体流量、 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  气体流量和  $\text{CH}_4$  气体流量, 借助流量控制器, 而分别被控制在 80sccm、3sccm、9sccm 和 0.2sccm, 且淀积在  $260^\circ \text{C}$  的

基底温度进行。

(第一 PIN 结构的 RF n 型层的形成)

为了形成包括 a-Si 的第一 PIN 结构的 RF n 型层 112, 首先门阀 408 被打开, 以把基底 490 (和形成在上面的层) 运送到借助一个真空泵 (未显示) 而事先抽真空的输送腔 403 中, 且门阀 407 被打开以把基底 490 输送到借助一个真空泵 (未显示) 而事先抽真空的输送腔 402 和 n 型层淀积腔 417 中。

用于第二 PIN 结构的 RF n 型层的随后的步骤得到重复, 只是  $\text{SiH}_4$  气体流量、 $\text{H}_2$  气体流量和  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体流量, 借助流量控制器 438、436 和 439, 而分别被控制在 1.1sccm、50sccm 和 10sccm, 淀积腔 417 内部的压强被控制在 1.05 毛, 且基底加热器 410 得到设定以使基底 490 的温度达到 230 °C。因此, 形成了第一 PIN 结构的 RF n 型层 112。

(第一 PIN 结构的 RF i 型层的形成)

为了形成包括 a-Si 的第一 PIN 结构的 RF i 型层 113, 以与第三 PIN 结构的 RF i 型层 104 的形成相同的方式运送基底 490 (和形成在上面的层)。用于第三 PIN 结构的 RF i 型层的随后的步骤得到重复, 只是基底温度被设定为 190 °C,  $\text{Si}_2\text{H}_6$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量借助相应的流量控制器 464 和 463 而分别被控制在 2sccm 和 200sccm, 淀积腔 417 内部的压强被控制在 0.8 毛, 且 RF 功率被设定为  $0.07\text{W}/\text{cm}^2$ 。因此, 形成了层厚度为 0.1  $\mu\text{m}$  的 RF i 型层 113。

(第一 PIN 结构的 RF p 型层的形成)

为了形成包括 SiC 的第一 PIN 结构的 RF p 型层 114, 基底 490 (和形成在上面的层) 以与第三 PIN 结构的 RF p 型层 107 的形成相同的方式得到运送。用于第三 PIN 结构的 RF p 型层的随后步骤得到重复, 只是  $\text{H}_2$  气体流量、 $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  气体流量、 $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  气体流量和  $\text{CH}_4$  气体流量借助流量控制器而分别被控制在 90sccm、3sccm、8sccm 和 0.4sccm, 且淀积是在 170 °C 的基底温度下进行的。

随后, 门阀 409 被打开, 以把基底 490 (和形成在上面的层) 运送到借助一个真空泵 (未显示) 而事先抽真空的卸载腔 405 中, 且一个泄漏阀 (未显示) 被打开以使气体从卸载腔 405 排出。

随后,在第一PIN结构的RF p型层114上,借助真空淀积淀积出层厚度为70nm的ITO,作为透明电极115。

随后,在透明电极115上,设置具有梳状开口的掩膜,且借助真空淀积形成包括Cr(40nm)/Ag(1000nm)/Cr(40nm)的梳状集电电极116。

因此,完成了本发明的光电器件的制造。这种光电器件在此把称为SCEX-9。

#### 比较例 5-1

在例9中,第三PIN结构的n型层具有a-Si,第三PIN结构的i型层具有a-SiGe,第二PIN结构的n型层具有a-Si,且第二PIN结构的i型层具有a-Si,它们都是利用RF功率而形成的。因此,制成了光电器件SCCP-5-1。上述以外的p型、i型和n型层都是以与例9中相同的方式形成的。

气体流量和其他条件如表9所示。

对于光电器件SCCP-5-1和SCEX-9中的每一种,都制备五个样品,并测量它们的特性。作为测量的结果,以SCEX-9的特性为1,则SCCP-5-1的特性如下:

初始光电转换效率: 0.85倍;短路电流: 0.90倍;光衰退速率: 1.12倍;耐热性衰退速率: 1.17倍;电池耐压: 0.93倍;输出量: 0.94倍。

#### 比较例 5-2

在例9中,利用RF功率形成的第一PIN结构的i型层具有 $\mu$ c-Si。因此,制成了光电器件SCCP-5-2。上述以外的p型、i型和n型层都是以与例9中相同的方式形成的。

对于光电器件SCEX-9和SCCP-5-2中的每一种,都制备五个样品,并测量它们的特性。作为测量结果,以SCEX-9的特性为1,则SCCP-5-2的特性如下:

初始光电转换效率: 0.81倍;短路电流: 1.01倍;光衰退速率: 0.98倍;耐热性衰退速率: 1.03倍;电池耐压: 0.91倍;输出量: 0.92倍。

如从比较例5-1和5-2可见,其中顶电池的i型层是非晶或中间和底电池的i型层是微晶的器件的特性好于其中所有i型层都是非晶或所有i型层都是微晶的器件。

### 比较例 5-3

重复例 9 的步骤，只是第三 PIN 结构的、包括微晶硅锗的 MWi 型半导体层 105 是只利用 RF 功率形成的。因此，制成了光电器件光电器件 SCCp-5-3。作为以类似方式进行的测量的结果，以 SCEx-9 的特性为 1，则 SCCp-5-3 的特性如下：

初始光电转换效率：0.93 倍；光衰退速率：1.06 倍；耐热性衰退速率：1.12 倍；电池耐压：0.97 倍；输出量：0.97 倍。

可见本发明的光电器件具有优越的特性。

### 例 10

用与例 9 中相同的方式但在表 10 显示的淀积条件下制成光电器件。这被称为 SCEx-10。

### 比较例 6

在例 9 中，第三 PIN 结构的 n 型层具有 a-Si，第三 PIN 结构的 i 型层具有 a-SiGe，第二 PIN 结构的 n 型层具有 a-Si，且第二 PIN 结构的 i 型层具有 a-Si，它们都是利用 RF 功率形成的。因此，制成了光电器件 SCCp-6。上述以外的 p 型、i 型和 n 型层是以与例 9 中相同的方式形成的。

气体流量和其他的条件如表 11 所示。

对于光电器件 SCEx-10 和 SCCp-6，制备出四个样品，并测量它们的特性。作为测量的结果，以 SCEx-10 的特性为 1，则 SCCp-6 的特性如下：

初始光电转换效率：0.86 倍；短路电流：0.93 倍；光衰退速率：1.12 倍；耐热性衰退速率：1.14 倍；电池耐压：0.96 倍；输出量：0.94 倍。

可见本发明的光电器件具有优越的特性。

### 例 11

在例 9 中，为了形成包括  $\mu$ c-Si 的第二 PIN 结构的 i 型层 110，SiH<sub>4</sub> 气体流量和 H<sub>2</sub> 气体流量借助相应的流量控制器 456 和 458 而分别被控制在 50sccm 和 1500sccm。i 型层淀积腔 418 内部的压强通过调节导通阀（未显示）的打开而被控制在 0.03 托。随后，RF 电源 424 的功率被设定为 0.15W/cm<sup>2</sup>，并被加到偏压杆 428 上。随后，微波电源（0.5GHz）（未显示）的功率被设定为 0.1W/cm<sup>2</sup>，且该微波功率通过偏压杆 428 而被馈送到 i 型层淀积腔 418，以造成辉光放电。因此，开始在第二 PIN 结构的 RF n 型

层上形成第二PIN结构的i型层,且形成具有 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 的层厚度的i型层,此时辉光放电被停止和从偏压电源424的输出被停止,以完成第二PIN结构的i型层110的形成。以相同的方式,制备出八个样品—其中只有包括 $\mu\text{c-Si}$ 的第二PIN结构的i型层110的层厚度在从 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 至 $3.0\text{ }\mu\text{m}$ 的范围中变化,且它们的初始光电转换效率、短路电流、开路电压、填充因子、光衰退速率、和输出量都得到测量。

所获得的结果如表12所示。对于初始光电转换效率,当i型层以从 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 至 $2.8\text{ }\mu\text{m}$ 的层厚度形成时,得到了实际使用中令人满意的器件。填充因子显示了随着第二PIN结构的i型层110的层厚度的增大而减小的趋向,且光衰退速率显示出随着第二PIN结构的i型层110的层厚度的增大而增大的趋向。对于短路电流、开路电压和输出量,随着第二PIN结构的i型层110的层厚度的增大,显示出良好的结果。

当包括 $\mu\text{c-Si}$ 的第二PIN结构的i型层110具有从 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 至 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 的层厚度时,获得了具有优越的特性的光电器件。

#### 例12

在例9中,为了形成具有 $\mu\text{c-Si}$ 的第三PIN结构的i型层105, $\text{SiH}_4$ 气体流量、 $\text{GeH}_4$ 气体流量和 $\text{H}_2$ 气体流量,借助相应的流量控制器456、457和458,而分别被控制在 $40\text{sccm}$ 、 $40\text{sccm}$ 和 $1500\text{sccm}$ 。i型层淀积腔418内部的压强,通过调节导通阀(未显示)的打开,而被控制在 $0.03\text{ Torr}$ 。随后,RF电源424的功率被设定为 $0.15\text{W}/\text{cm}^2$ ,并被加到偏压杆428。随后,微波电源( $0.5\text{GHz}$ )(未显示)的功率被设定为 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ ,且该微波功率通过偏压杆428而被馈送到i型层淀积腔418中,以造成辉光放电。因此,开始在第三PIN结构的RF n型层上形成第三PIN结构的i型层,且形成层厚度为 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 的i型层,此时辉光放电被停止且来自偏压电源424的输出被停止,以完成第三PIN结构的i型层105的形成。以相同的方式,制备出八个样品—其中只有包括 $\mu\text{c-Si}$ 的第三PIN结构的i型层105的层厚度在从 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 至 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 的范围中改变,且它们的初始光电转换效率、短路电流、开路电压、填充因子、光衰退速率、和输出量都得到测量。

所获得的结果如表13所示。对于初始光电转换效率,当i型层的层厚度从 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 至 $2.3\text{ }\mu\text{m}$ 时,获得了实际使用中令人满意的器件。填充因

子显示出随着第三 PIN 结构的 i 型层 105 的层厚度的增大而减小的趋向, 且光衰退速率显示出随着第三 PIN 结构的 i 型层 105 的增大而增大的趋向。对于短路电流、开路电压和输出量, 随着第三 PIN 结构的 i 型层 105 的层厚度的增大而显示出良好的结果。

#### 例 13

在例 9 中, 第二 PIN 结构的 n 型层 109 以相同的方式形成。为了形成包括  $\mu$  c-Si 的第二 PIN 结构的 i 型层 110,  $\text{SiH}_4$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量借助相应的流量控制器 456 和 458 而分别被控制在 50sccm 和 1500sccm, 且  $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  气体流量借助流量控制器 460 而得到控制以使第二 PIN 结构的 i 型层 110 的微晶硅中硼含量处于从 0ppm 至 10.0ppm 的范围中, 从而制成光电器件。其他的 p 型、i 型和 n 型层都以与例 9 中相同的方式形成。第二 PIN 结构的 i 型层 110 的硼含量是利用 CAMECA 公司制造的 IMF-4F (交易名) 测量的。

当第二 PIN 结构的 i 型层 110 具有 8.0ppm 或更低的硅中硼含量时, 获得了在热退化之后具有优越的初始光电转换效率、稳定的光电转换效率、光衰退速率和输出量的质量良好的 i 型层。这些结果显示在表 14 中。

#### 例 14

在例 9 中, 第三 PIN 结构的 i 型层 103 是以相同的方式形成的。为了形成包括  $\mu$  c-SiGe 的第三 PIN 结构的 i 型层 105,  $\text{SiH}_4$  气体流量、 $\text{GeH}_4$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量借助相应的流量控制器 456、457 和 458 而分别被控制在 40sccm、40sccm 和 1500sccm, 且  $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  气体流量借助流量控制器 460 而得到控制以使第三 PIN 结构的 i 型层 105 的微晶硅中的硼含量处于从 0ppm 至 10.0ppm 的范围中, 从而制成光电器件。其他的 p 型、i 型和 n 型层都以与例 9 中的相同的方式形成。第三 PIN 结构的 i 型层 105 中的硼含量是利用 CAMECA 公司制造的 IMF-4F (交易名) 测量的。

当第三 PIN 结构的 i 型层 105 具有 8.0ppm 或更低的硅锗中的硼含量时, 获得了在热退化之后具有优越的初始光电转换效率、稳定的光电转换效率、光衰退速率和输出量的质量良好的 i 型层。这些结果显示在表 15 中。

#### 例 15

在例 9 中, 制成了一个光电器件 SCEX-15 — 其中第二 PIN 结构的 n 型

层得到了改变而具有如图2所示地组成的、包括一个非晶半导体层和一个微晶半导体层的叠置结构。但没有设置缓冲层204。在图2中,标号208表示一个n型非晶半导体(a-Si)且209表示一个n型微晶半导体( $\mu$ c-Si)层。

为了形成包括a-Si的第二PIN结构的RF n型层208,阀443、433、444和434得到操作,以通过气体输送管429把 $\text{SiH}_4$ 和 $\text{PH}_3/\text{H}_2$ 气体馈送到淀积腔417中。这里, $\text{SiH}_4$ 气体流量、 $\text{H}_2$ 气体流量和 $\text{PH}_3/\text{H}_2$ 气体流量,借助流量控制器438、436和439,而分别被控制在2sccm、100sccm和5sccm,且淀积腔417内部的压强被控制在1.0 托。

随后,RF电源422的功率被设定为 $0.03\text{W}/\text{cm}^2$ ,且RF功率被馈送到等离子体形成杯420以造成辉光放电。因此,开始在第三PIN结构的p型层207上形成第二PIN结构的RF n型层,且形成层厚度为15nm的RF n型层,此时关断RF电源以停止辉光放电,从而完成第二PIN结构的RF n型层208的形成。使 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{PH}_3/\text{H}_2$ 和 $\text{H}_2$ 气体停止流入淀积腔417,且随后淀积腔和气体管的内部被抽真空至 $1 \times 10^{-5}$ 托的压强。

其他的淀积层的形成方式与例9中的相同。

比较例7

在与例15相同的条件下制成一个光电器件SCCp-7,只是第二PIN结构的RF n型层具有a-Si,且第二PIN结构的i型层具有a-Si。

对于光电器件SCEX-15和SCCp-7中的每一种,都制备出六个样品,并测量它们的特性。作为测量结果,以SCEX-15的特性为1,则SCCp-7的特性如下:

初始光电转换效率: 0.87 倍; 短路电流: 0.91 倍; 光衰退速率: 1.12 倍; 耐热性衰退速率: 1.13 倍; 电池耐压: 0.94 倍; 输出量: 0.94 倍。

可检测本发明的光电器件具有优越的特性。

例16

制成一种光电器件SCEX-16,其中第三PIN结构的n型层得到改变而具有一种叠置结构—该叠置结构包括一个非晶半导体层和一个微晶半导体层。该组成在图3中显示。在图3中,标号317表示一个n型非晶半导体(a-Si)层,且303表示一个n型微晶半导体( $\mu$ c-Si)层。作为第三

PIN 结构的 i 型层 305 的缓冲层, 设置了一个层 306。

为了形成包括 a-Si 的第三 PIN 结构的 RF n 型层 317, 阀 443、433、444 和 434 得到操作, 以通过气体输送管 429 把  $\text{SiH}_4$  和  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体馈送到淀积腔 417 中。这里,  $\text{SiH}_4$  气体流量、 $\text{H}_2$  气体流量和  $\text{PH}_3/\text{H}_2$  气体流量, 借助流量控制器 438、436 和 439, 而分别被控制在 2sccm、100sccm 和 5sccm, 且淀积腔 417 内部的压强被控制在 1.0 托。

随后, RF 电源 422 的功率被设定为  $0.03\text{W}/\text{cm}^2$ , 且 RF 功率被馈送到等离子体形成杯 420 以造成辉光放电。因此, 第三 PIN 结构的 RF n 型层开始在基底上形成, 且形成层厚度为 20nm 的 RF n 型层, 此时 RF 电源被关断以停止辉光放电, 从而完成第三 PIN 结构的 RF n 型层 317 的形成。使  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{PH}_3/\text{H}_2$  和  $\text{H}_2$  气体停止流入淀积腔 417, 且随后淀积腔和气体管的内部被抽真空至  $1 \times 10^{-5}$  托的压强。

图 3 中显示的其他的淀积层的形成方式与例 9 中的相同。

#### 比较例 8

在与例 16 中的条件相同的条件下, 制成一个光电器件 SCCp-8, 只是第三 PIN 结构的 RF n 型层具有 a-Si, 且第二 PIN 结构的 i 型层具有 a-SiGe。

对于光电器件 SCEX-16 和 SCCp-8 中的每一种, 都制备六个样品, 并测量它们的特性。作为测量结果, 以 SCEX-16 的特性为 1, 则 SCCp-8 的特性如下:

初始光电转换效率: 0.88 倍; 短路电流: 0.89 倍; 光衰退速率: 1.13 倍; 耐热性衰退速率: 1.12 倍; 电池耐压: 0.95 倍; 且输出量: 0.95 倍。

可检测本发明的光电器件具有优越的特性。

#### 例 17

在例 9 中, 为了形成第三 PIN 结构的 MW i 型层 105, 借助相应的流量控制器 456 和 458 而分别把  $\text{SiH}_4$  气体流量和  $\text{H}_2$  气体流量控制在 50sccm 和 1500sccm, 且  $\text{GeH}_4$  气体流量得到改变, 以处于 20 原子%至 60 原子%的范围。因此, 制成了一种光电器件。第三 PIN 结构的 MW i 型层 105 中的锗含量是利用 CAMECA 公司制造的 IMF-4F (交易名) 测量的。所获得的结果显示在表 16 和 17 中。

当 i 型半导体层的微晶硅锗中的锗含量为 40 原子% 或更高时, 不论

GeH<sub>4</sub> 气体流量是恒定还是渐变的, 本发明的光电器件中的第三 PIN 结构的 i 型层都具有适合于吸收长波光的带隙且在第三 PIN 结构中获得了足够的电流, 从而改善了整体的效率。

#### 例 18

在第三 PIN 结构的 MW i 型层 105 即微晶硅锗层的形成中, 膜形成气体 SiH<sub>4</sub>、GeH<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub> 的流量得到改变, 以产生具有不同光吸收系数的光电器件。在进行测量中层厚度是均匀的 0.3 μm。光吸收系数是利用分光光度计测量的。

获得了具有低光衰退速率和优越的填充因子以及稳定的转换效率的光电器件, 它们具有 10000cm<sup>-1</sup> 或更高的光吸收系数。在具有高光吸收系数的 i 型半导体层中, 当厚度较小时, 可以形成具有低得多的光衰退速率的膜并可以取低的开路电压。

#### 例 19

利用采用如图 5 所示的辊一至一辊系统的淀积设备制成如图 1 所示的三重式光电器件。然而, 第三 PIN 结构的 i 型层 105 由微晶硅锗形成且没有提供缓冲层 104。

作为基底, 采用了 300m 长、30cm 宽和 0.2mm 厚并具有光反射层(一个金属层和一个透明导电层)的片状基底。随后, 在表 8 显示的其他淀积层的条件下, 以如下方式制成三重式光电器件。

具有光反射层的片状基底被置于用于馈送基底的装载腔 5010 中。使该片状基底通过所有的淀积腔和所有的气体门并连接到卸载腔 5150 中的片卷绕夹具。相应的淀积腔借助排放系统(未显示)而被抽真空至  $1 \times 10^{-7}$  托或更低。所希望的材料气体从淀积膜形成混合系统 5026、5036、5046、5056、5066、5076、5096、5116、5126、5136 和 5146 被馈送到相应的淀积腔中。从相应的门气体馈送系统, 气体被送到气体门 5201、5202、5203、5204、5205、5206、5207、5010、5211、5212、5213 和 5214。

该基底借助各个淀积系统中的基底加热器而被加热, 且真空度通过调节各个排放系统的排放阀的打开而得到控制。在基底温度和真空度变得稳定之后, 开始输送基底, 且用于产生等离子体的 RF 功率或 MW (频率:

0.5GHz, 2.45GHz) 功率被提供到各个淀积腔。以此方式, 在 100m 长的片状基底上形成了具有如图 1 所示的叠置三 PIN 结构的三重式光电器件。在第二 PIN 结构的 i 型半导体层的形成中, 施加了微波功率 (0.5GHz)。

随后, 在 RF p 型层 114 上, 借助真空淀积, 淀积出层厚度为 70nm 的 ITO, 作为透明电极 115。

随后, 在透明电极 115 上, 设置带有梳状开口的掩膜, 且借助真空淀积形成包括 Cr (40nm) / Ag (1000nm) / Cr (40nm) 的梳状集电电极 116。

因此, 完成了本例的光电器件的制造。该光电器件被称为 SCEx-19。

#### 比较例 9

在与例 19 相同的条件下制成光电器件 SCCp-9, 只是第三 PIN 结构的 RF n 型层具有  $\mu$ c-Si, 且第二 PIN 结构的 i 型层具有  $\mu$ c-SiGe。

对于光电器件 SCEx-19 和 SCCp-9 之每一种, 都制备八个样品, 并测量它们的特性。作为测量结果, 以 SCEx-19 的特性为 1, 则 SCCp-9 的特性如下:

初始光电转换效率: 0.88 倍; 短路电流: 0.93 倍; 光衰退速率: 1.07 倍; 耐热性衰退速率: 1.08 倍; 电池耐压: 0.94 倍; 输出量: 0.95 倍。

可见本发明的光电器件具有优越的特性。

#### 例 20

在例 9 中, 第三 PIN 结构的 i 型半导体层是利用微波功率 (2.45GHz) 代替微波功率 (0.5GHz) 而形成的, 且利用采用如图 5 所示的辊一至一辊系统的淀积设备制成与例 9 的器件相同的三重式光电器件。该光电器件被称为 SCEx-20。

作为测量结果, 以 SCEx-20 的特性为 1, 则 SCCp-9 的特性如下:

初始光电转换效率: 0.89 倍; 短路电流: 0.91 倍; 光衰退速率: 1.08 倍; 耐热性衰退速率: 1.10 倍; 电池耐压: 0.94 倍; 输出量: 0.96 倍。

可见本发明的光电器件具有优越的特性。

表 1

第二PIN的i型层的层厚度 ( $\mu m$ ):	0.1	0.2	0.3	1.0	1.5	2.2	2.4	3.0
初始光电转换效率:	C	B	B	A	A	A	B	C
短路电流:	C	C	B	A	A	A	B	C
开路电压:	B	B	A	A	A	A	A	B
填充因子:	A	A	A	A	A	B	B	B
光衰退率:	A	A	A	A	A	A	A	B
输出量:	C	B	A	A	A	A	A	A

- A: 对于实际使用来说最佳  
 B: 对于实际使用来说令人满意  
 C: 对于实际使用来说不令人满意

表 2

微晶硅中的硼含量 (ppm):	0 ppm	1 ppm	3 ppm	8 ppm	10 ppm
初始光电转换效率:	A	A	A	B	C
稳定光电转换效率:	A	A	A	A	B
光衰退率:	A	A	A	A	B
热衰退后的输出量:	A	A	A	B	C

- A: 对于实际使用来说最佳  
 B: 对于实际使用来说令人满意  
 C: 对于实际使用来说不令人满意

表 3

非晶 SiGe 中的锗含量 (原子%) :	20%	30%	45%	50%	55%	60%	75%
初始光电转换效率:	C	B	A	A	A	A	A
稳定光电转换效率:	C	C	A	A	A	A	A
开路电压:	A	A	A	A	A	A	A
短路电流:	C	B	A	A	A	A	A

A: 对于实际使用来说最佳  
 B: 对于实际使用来说令人满意  
 C: 对于实际使用来说不令人满意

表 4

非晶 SiGe 中的平均锗含量 (原子%) :	30% (20-40%)	50% (40-60%)	70% (60-80%)
初始光电转换效率:	C	A	A
稳定光电转换效率:	C	A	A
开路电压:	A	A	A
短路电流:	C	A	A

A: 对于实际使用来说最佳  
 B: 对于实际使用来说令人满意  
 C: 对于实际使用来说不令人满意

表 5

( 比较例 1 )													
	SiH <sub>4</sub> 流量	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 流量	CH <sub>4</sub> 流量	GeH <sub>4</sub> 流量	H <sub>2</sub> 流量	PH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> 流量	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /H <sub>2</sub> 流量	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> 流量	压强	MW 功率	RF 功率	基底温度	层厚度
	( sccm ) ( sccm ) ( sccm ) ( sccm ) ( sccm ) ( Torr ) ( W/cm <sup>3</sup> ) ( W/cm <sup>3</sup> ) ( °C ) ( nm )												
RF n 型层 ( 103 ) :	-	-	-	-	80	10	-	-	1.3	-	0.05	380	10
2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RF i 型层 ( 104 ) :	-	3.5	-	-	100	-	-	-	0.65	-	0.008	300	10
MW i 型层 ( 105 ) :	-	-	-	51	170	-	-	-	0.01	0.1	0.32	380	170
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RF i 型层 ( 106 ) :	-	3.5	-	-	100	-	-	-	0.65	-	0.008	300	23
RF p 型层 ( 107 ) :	-	-	0.1	-	80	-	9	3	1.8	-	0.07	300	10
RF n 型层 ( 109 ) :	-	-	-	-	70	8	-	-	1.2	-	0.07	320	10
2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MW i 型层 ( 110 ) :	-	-	-	-	250	-	-	-	0.02	0.1	0.205	320	150
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RF p 型层 ( 111 ) :	-	-	0.2	-	80	-	9	3	1.7	-	0.07	260	10
RF n 型层 ( 112 ) :	-	-	-	-	50	10	-	-	1.05	-	0.04	230	10
1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RF i 型层 ( 113 ) :	-	2.0	-	-	200	-	-	-	0.8	-	0.007	190	90
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RF p 型层 ( 114 ) :	-	-	0.4	-	90	-	8	3	1.6	-	0.07	170	10

表 6

(例 2)		SiH <sub>4</sub> 流量	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 流量	CH <sub>4</sub> 流量	GeH <sub>4</sub> 流量	H <sub>2</sub> 流量	PH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> 流量	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /H <sub>2</sub> 流量	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> 流量	压强 (Torr)	MW 功率 (W/cm <sup>2</sup> )	RF 功率 (W/cm <sup>2</sup> )	基底温度 (°C)	层厚度 (nm)
RF n 型层 (103):	2.2	-	-	-	-	75	10	-	-	1.3	-	0.05	380	10
RF i 型层 (104):	4.0	-	-	-	-	100	-	-	-	0.65	-	0.008	290	10
MW i 型层 (105):	48	-	-	-	51	170	-	-	-	0.01	0.10	0.32	380	170
RF i 型层 (106):	4.0	-	-	-	-	100	-	-	-	0.65	-	0.008	290	23
RF p 型层 (107):	-	0.1	-	-	-	80	-	9	4	1.8	-	0.08	300	10
RF n 型层 (109):	1.0	-	-	-	-	150	8	-	-	1.2	-	0.08	320	100
MW i 型层 (110):	45	-	-	-	-	800	-	-	-	0.02	0.15	0.12	370	1,500
RF p 型层 (111):	-	0.2	-	-	-	80	-	9	4	1.7	-	0.08	260	10
RF n 型层 (112):	1.1	-	-	-	-	50	10	-	-	1.05	-	0.04	220	10
RF i 型层 (113):	2.0	-	-	-	-	200	-	-	-	0.8	-	0.007	190	90
RF p 型层 (114):	-	0.4	-	-	-	90	-	8	4	1.6	-	0.08	160	10

表 7

( 比较例 2 )												
SiH <sub>4</sub> 流量	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 流量	CH <sub>4</sub> 流量	GeH <sub>4</sub> 流量	H <sub>2</sub> 流量	PH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> 流量	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /H <sub>2</sub> 流量	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> 流量	压强	MW 功率	RF 功率	基底温度	层厚度
(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(Torr)	(W/cm <sup>3</sup> )	(W/cm <sup>3</sup> )	(°C)	(nm)
RF n 型层	( 103 ) : 2.2	-	-	80	10	-	-	1.3	-	0.05	370	10
RF i 型层	( 104 ) : 3.5	-	-	90	-	-	-	0.65	-	0.008	300	10
MW i 型层	( 105 ) : 48	-	53	170	-	-	-	0.02	0.1	0.32	370	170
RF i 型层	( 106 ) : 3.5	-	-	90	-	-	-	0.67	-	0.008	300	20
RF p 型层	( 107 ) : -	0.1	-	80	-	8	3	1.8	-	0.07	300	10
RF n 型层	( 109 ) : 2.0	-	-	70	8	-	-	1.2	-	0.07	320	10
MW i 型层	( 110 ) : 50	-	-	250	-	-	-	0.02	0.1	0.205	320	150
RF p 型层	( 111 ) : -	0.2	-	80	-	8	3	1.8	-	0.07	250	10
RF n 型层	( 112 ) : 1.3	-	-	50	10	-	-	1.05	-	0.04	230	10
RF i 型层	( 113 ) : 2.0	-	-	100	-	-	-	0.8	-	0.007	180	90
RF p 型层	( 114 ) : -	0.4	-	90	-	8	3	1.6	-	0.07	170	10

表 8

(例 7)		SiH <sub>4</sub>	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>4</sub>	GeH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	PH <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	SiH <sub>4</sub>	压强	MW 功率	RF 功率	基底温度	层厚度
流量	(sccm)	流量	(sccm)	流量	(sccm)	流量	(sccm)	流量	(sccm)					
	(sccm)		(sccm)		(sccm)		(sccm)		(sccm)	(Torr)	(W/cm <sup>2</sup> )	(W/cm <sup>2</sup> )	(°C)	(nm)
RF n 型层 (103):	-	-	-	-	80	10	-	-	-	1.3	-	0.05	380	10
RF i 型层 (104):	2.2	-	-	-	100	-	-	-	-	0.65	-	0.008	300	10
MW i 型层 (105):	-	-	-	-	170	-	-	-	-	0.010	0.10	0.32	380	170
RF i 型层 (106):	48	-	-	-	100	-	-	-	-	0.65	-	0.008	300	23
RF p 型层 (107):	3.5	-	-	0.1	80	-	-	9	3	1.8	-	0.07	300	10
RF n 型层 (109):	-	-	-	-	150	8	-	-	-	1.2	-	0.07	320	100
MW i 型层 (110):	1.0	-	-	-	1,500	-	-	-	-	0.03	0.1	0.15	380	1,500
RF p 型层 (111):	50	-	-	0.2	80	-	-	9	3	1.7	-	0.07	260	10
RF n 型层 (112):	-	-	-	-	50	10	-	-	-	1.05	-	0.04	230	10
RF i 型层 (113):	1.1	-	-	-	200	-	-	-	-	0.8	-	0.007	190	90
RF p 型层 (114):	2.0	-	-	0.4	90	-	-	8	3	1.6	-	0.07	170	10

表 9

(比较例 5-1)													
	SiH <sub>4</sub> 流量	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 流量	CH <sub>4</sub> 流量	GeH <sub>4</sub> 流量	H <sub>2</sub> 流量	PH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> 流量	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /H <sub>2</sub> 流量	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> 流量	压强	MW 功率	RF 功率	基底温度	层厚度
	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(Torr)	(W/cm <sup>3</sup> )	(W/cm <sup>3</sup> )	(°C)	(nm)
RF n 型层 (103):	1.2	-	-	-	50	5	-	-	1.2	-	0.06	370	10
MW i 型层 (105):	5	-	-	5	140	-	-	-	1.5	-	0.08	370	120
RF i 型层 (106):	-	3.5	-	-	100	-	-	-	0.65	-	0.008	310	23
RF p 型层 (107):	-	-	0.2	-	80	-	8	4	1.8	-	0.06	310	10
RF n 型层 (109):	1.0	-	-	-	130	8	-	-	1.2	-	0.06	320	100
MW i 型层 (110):	5	-	-	-	120	-	-	-	1.3	-	0.08	380	150
RF p 型层 (111):	-	-	0.3	-	70	-	8	4	1.7	-	0.06	260	10
RF n 型层 (112):	1	-	-	-	55	6	-	-	1.3	-	0.06	230	10
RF i 型层 (113):	-	2.0	-	-	220	-	-	-	0.8	-	0.006	190	100
RF p 型层 (114):	-	-	0.3	-	150	-	8	4	1.5	-	0.06	160	10

表 10

(例 10)		$\text{SiH}_4$ 流量	$\text{Si}_2\text{H}_6$ 流量	$\text{CH}_4$ 流量	$\text{GeH}_4$ 流量	$\text{H}_2$ 流量	$\text{PH}_3$ 流量	$\text{B}_2\text{H}_6$ 流量	$\text{SiH}_4$ 流量	压强	MW 功率	RF 功率	基底温度	层厚度
		(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(Torr)	(W/cm <sup>2</sup> )	(W/cm <sup>2</sup> )	(°C)	(nm)
RF n 型层 (103):	-	-	-	-	-	150	8	-	-	1.3	-	0.07	380	100
MW i 型层 (105):	30	-	-	-	30	800	-	-	-	0.03	0.1	0.15	420	1,500
RF i 型层 (106):	-	-	-	-	-	100	-	-	-	0.65	-	0.008	300	23
RF p 型层 (107):	-	0.1	-	-	-	80	-	9	3	1.8	-	0.07	300	10
RF n 型层 (109):	-	-	-	-	-	150	8	-	-	1.2	-	0.07	320	100
MW i 型层 (110):	25	-	-	-	-	500	-	-	-	0.02	0.1	0.15	380	1,200
RF p 型层 (111):	-	0.2	-	-	-	80	-	9	3	1.7	-	0.07	260	10
RF n 型层 (112):	-	-	-	-	-	50	10	-	-	1.05	-	0.04	230	10
RF i 型层 (113):	-	-	-	-	-	200	-	-	-	0.8	-	0.007	190	100
RF p 型层 (114):	-	0.4	-	-	-	90	-	8	3	1.6	-	0.07	170	10

表 11

(比较例 6)		SiH <sub>4</sub> 流量	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 流量	CH <sub>4</sub> 流量	GeH <sub>4</sub> 流量	H <sub>2</sub> 流量	PH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> 流量	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /H <sub>2</sub> 流量	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> 流量	压强	MW 功率	RF 功率	基底温度	层厚度
		(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(sccm)	(Torr)	(W/cm <sup>2</sup> )	(W/cm <sup>2</sup> )	(°C)	(nm)
RF n 型层	(103):	-	-	-	-	45	5	-	-	1.2	-	0.07	380	10
MW i 型层	(105):	-	-	-	4	150	-	-	-	1.5	-	0.08	380	120
RF i 型层	(106):	-	-	-	-	100	-	-	-	0.65	-	0.01	300	23
RF p 型层	(107):	-	3.5	0.1	-	80	-	9	3	1.8	-	0.07	300	10
RF n 型层	(109):	-	-	-	-	150	8	-	-	1.2	-	0.07	320	100
MW i 型层	(110):	-	-	-	-	120	-	-	-	1.3	-	0.08	380	150
RF p 型层	(111):	-	-	0.2	-	90	-	9	3	1.5	-	0.07	260	10
RF n 型层	(112):	-	-	-	-	50	6	-	-	1.3	-	0.06	230	10
RF i 型层	(113):	-	2.0	-	-	180	-	-	-	0.8	-	0.01	190	100
RF p 型层	(114):	-	-	0.2	-	100	-	8	3	1.5	-	0.07	160	10

表 12

第二PIN的i型层的层厚度 ( $\mu\text{m}$ ):	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.8	3.0
初始光电转换效率:	C	B	A	A	A	A	B	C
短路电流:	C	B	A	A	A	B	B	C
开路电压:	B	A	A	A	A	A	A	B
填充因子:	A	A	A	A	A	B	B	B
光衰退率:	A	A	A	A	A	A	B	B
输出量:	B	A	A	A	A	A	A	A

A: 对于实际使用来说最佳

B: 对于实际使用来说令人满意

C: 对于实际使用来说不令人满意

表 13

第二管脚的i型层的层厚度 ( $\mu\text{m}$ ):	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.3	2.5
初始光电转换效率:	C	B	A	A	A	A	B	C
短路电流:	C	B	A	A	A	A	B	C
开路电压:	B	A	A	A	A	A	B	B
填充因子:	A	A	A	A	A	B	B	B
光衰退率:	A	A	A	A	A	A	B	B
输出量:	B	A	A	A	A	A	A	A

A: 对于实际使用来说最佳

B: 对于实际使用来说令人满意

C: 对于实际使用来说不令人满意

表 14

微晶硅中的硼含量 ( ppm ) :	0 ppm	1 ppm	3 ppm	8 ppm	10 ppm
初始光电转换效率:	A	A	A	B	C
稳定光电转换效率:	A	A	A	A	B
光衰退速率:	A	A	A	B	C
热衰退后的输出量:	A	A	A	B	C

- A: 对于实际使用来说最佳  
 B: 对于实际使用来说令人满意  
 C: 对于实际使用来说不令人满意

表 15

微晶硅锗中的硼含量 ( ppm ) :	0 ppm	1 ppm	3 ppm	8 ppm	10 ppm
初始光电转换效率:	A	A	A	B	C
稳定光电转换效率:	A	A	A	A	B
光衰退速率:	A	A	A	A	B
热衰退后的输出量:	A	A	A	B	C

- A: 对于实际使用来说最佳  
 B: 对于实际使用来说令人满意  
 C: 对于实际使用来说不令人满意

表 16

微晶硅锗中的锗含量 (原子%) :		20%	30%	40%	50%	60%	75%
初始光电转换效率:		C	B	A	A	A	A
稳定光电转换效率:		C	C	A	A	A	A
开路电压:		A	A	A	A	A	A
短路电流:		C	B	A	A	A	A

A: 对于实际使用来说最佳  
 B: 对于实际使用来说令人满意  
 C: 对于实际使用来说不令人满意

表 17

微晶硅锗中的平均锗含量 (原子%) :		25%(20-30%)	45%(40-50%)	65%(60-70%)
初始光电转换效率:		C	A	A
稳定光电转换效率:		C	A	A
开路电压:		A	A	A
短路电流:		C	A	A

A: 对于实际使用来说最佳  
 B: 对于实际使用来说令人满意  
 C: 对于实际使用来说不令人满意

图 1

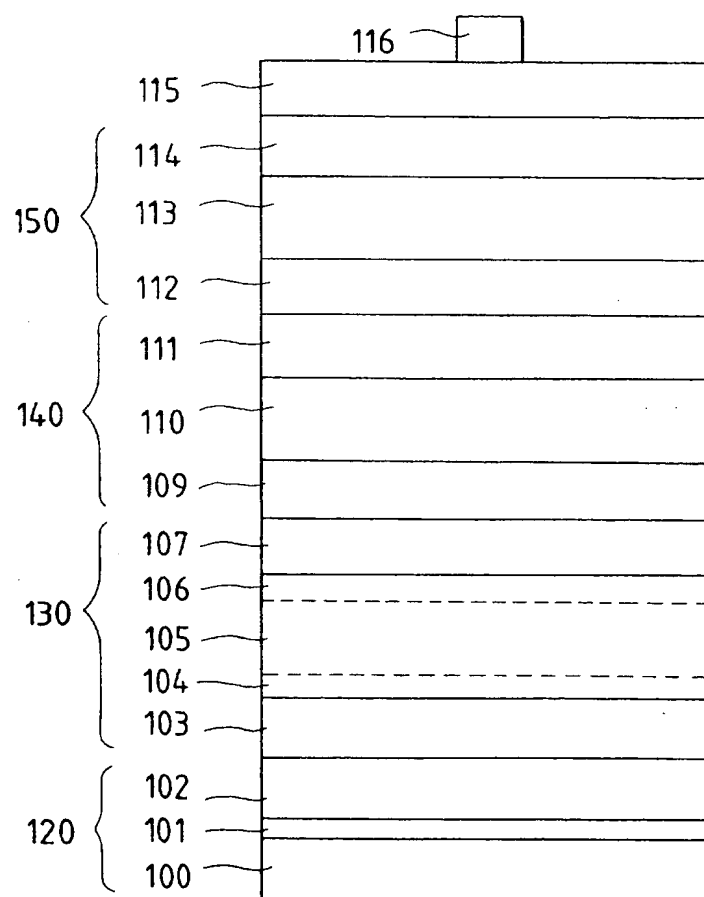


图 2

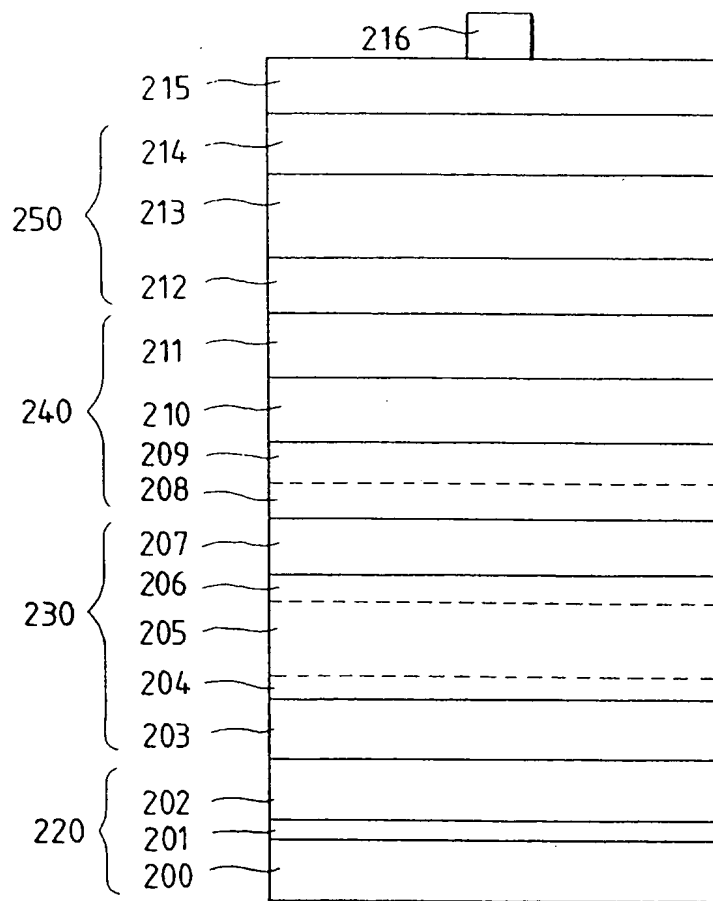


图 3

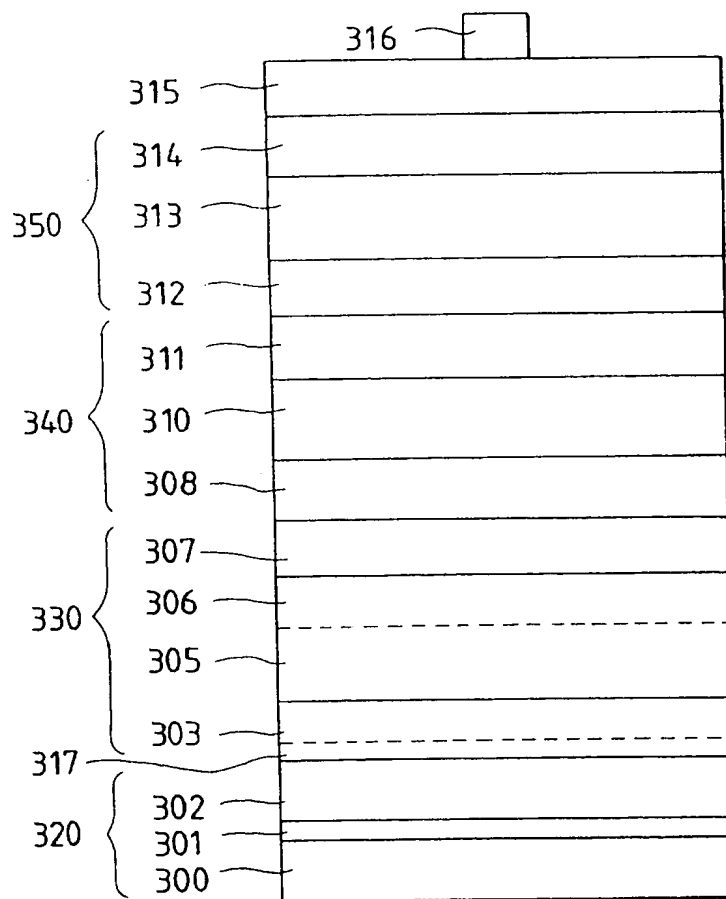


图 4A

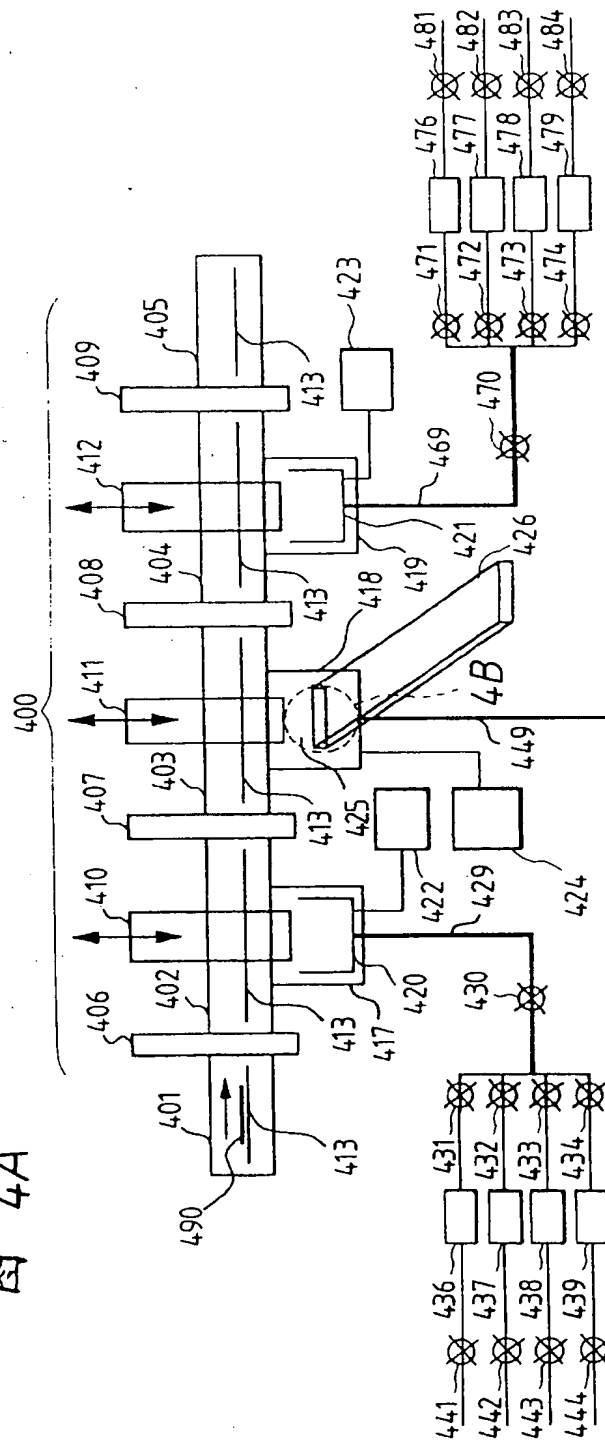


图 4B

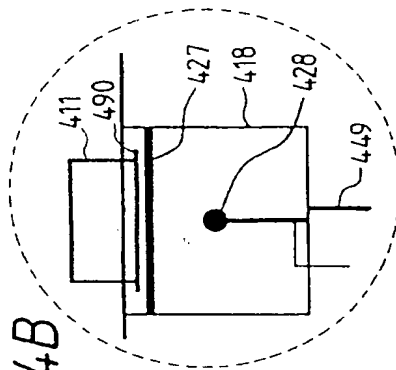


图 5

